



НАУКОВИЙ ВІСНИК: Цивільний захист та пожежна безпека

№ 2 (8), 2019

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

Редакційна колегія:

головний редактор –

голова редколегії

д-р техн. наук

заст. головного редактора

канд. техн. наук

науковий редактор–

відповідальний секретар

канд. 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. техн. наук

канд. техн. наук

канд. хім. наук

канд. техн. наук

канд. техн. наук

PhDEng.

PhDEng.

літературний редактор

(англійська мова)

літературний редактор

(українська мова)

технічний редактор

Поздєєв С.В.

Коваленко В.В.

Огурицов С.Ю.

Тютюнник В.В.

Цанко Ю.В.

Кропивницький В.С.

Лавренюк О.І.

Лоїк В.Б.

Ніжник В.В.

Новак С.В.

Пазен О.Ю.

Паснак І.В.

Сізіков О.О.

Ліхнівський Р.В.

Іванов Ю.С.

Навроцький О.Д.

Врублевський Д.

Самберг А.

Івашина Н.О.

Струтинська В.М.

Ю.Набоков

Заснований у 2016 році

Виходить 2 рази на рік

Засновник

Український науково-дослідний інститут
цивільного захисту (УкрНДІЦЗ)

Видавець

Український науково-дослідний інститут
цивільного захисту (УкрНДІЦЗ)

Журнал зареєстровано Міністерством
юстиції України

Свідоцтво від 12.03.2016

серія КВ № 21910-11810ПР

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

Наказ Міністерства освіти і науки України
від 24.05.2018 № 527

У разі передруковування матеріалів письмовий
дозвіл УкрНДІЦЗ є обов'язковим

Рекомендовано до видання рішенням науково-
технічної ради УкрНДІЦЗ

Протокол від 20. 12.2019 № 13

Ідентифікатор випуску DOI:

<https://doi.org/10.33269/nvcz.2019.2>

Підписано до друку 30.12.2019

Адреса редакції:

01011, м. Київ, вул. Рибальська, 18

Телефони:

(+380 44) 254-52-26; 280-18-01

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

e-mail: u_secretar@ukr.net,

S.Ohurtsov@undicz.dsns.gov.ua

Формат 60 × 84/8.

Наклад 50 прим.

ЗМІСТ

CONTENTS

С.В. Новак, В.Л. Дріжд, О.В. Добростан, П.О. Ілляченко

Дослідження вогнестійкості кабельних проходок із застосуванням реактивного вогнезахисного матеріалу «Ендотерм ХТ-150»

3

S. Novak, V. Drizhd, O. Dobrostan, P. Illyuchenko

Research of fire resistance of cable punches with the application of reactive fire protection material "Endotherm HT-150"

О.М. Тимошенко, В.Ф. Чуян, А.О. Грачов

Вплив робочих параметрів на технічні характеристики функціональних зразків стволів-генераторів піни високої кратності

14

O. Tymoshenko, V. Chuian, A. Hrachov

Effect of operating parameters upon performance of functional specimens of high expansion foam generators

В.В. Присяжнюк, С.В. Семичаєвський, М.Л. Якіменко, М.В. Осадчук, О.В. Куртов, О.В. Мілютін

Експериментальні методи оцінювання ефективності застосування переносних засобів димо- та тепловидалення

22

V. Prisyazhnuk, S. Semichaevskiy, M. Yakimenko, M. Osadchuk, O. Kurtov, O. Milutin

Experimental methods of assessing the efficiency of use of smoke and heat removal

С.В. Новак, М.С. Новак, О.І. Бедратюк

Особливості оцінювання методів визначення характеристик вогнестійкості будівельних конструкцій

29

S. Novak, M. Novak, O. Bedryuk

Peculiarities of evaluation of methods of determination of characteristics of fire resistance of building structures

О.О. Сізіков, В.В. Ніжник, Я.В. Балло, С.Ю. Голікова, О.В. Савченко

Систематизація процесу управління пожежною безпекою об'єкта захисту

41

O. Sizikov, V. Nizhnyk, Y. Ballo, S. Golikova, O. Savchenko

Systematisation of the management process of fire safety for protected object

В.В. Коваленко, А.С. Борисова, В.І. Кравченко, Р.В. Ліхнівський

Нормативно-технічні аспекти захисної дії фільтрів-поглиначів, що застосовуються для колективного захисту

50

V. Kovalenko, A. Borysova, V. Kravchenko, R. Likhnovskiy

Normative and technical aspects of the protective action of the filters-adsorbers applicable for collective protection

С.В. Новак, П.О. Ілляченко, В.О. Боровиков, Н.А. Поворозніук

Аналітичне дослідження методів оцінювання вогнестійкості кабельних проходок

57

S. Novak, P. Illyuchenko, V. Borovikov, N. Povorozniuk

Analytical study of methods of assessment of fire resistance of cable penetrations

Р.С. Яковчук, А.Д. Кузик, О.С. Ємельяненко, Т.М. Скоробагатко, А.І. Івануса, О.В. Добростан

Аналіз протипожежних заходів у конструкціях зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією та опорядженням штукатуркою

67

R. Yakovchuk, A. Kuzyk, S. Yemelyanenko, T. Skorobagatko, A. Ivanusa, O. Dobrostan

Analysis of fire-fighting measures in construction of exterior walls fit with façade heat insulation and finished with plaster

Ф.І.Кірчу, О.Ф. Нікулін, А.І.Кодрик, Тітенко О.М., Мороз О.І.

Застосування програмного комплексу ANSYS CFX для моделювання руху газового потоку в реакційній камері при отримання сорбенту на основі терморозщепленого графіту

74

F. Kirchu, A. Nikulin, A. Kodryk, O. Titenko, O. Moroz

Application of ANSYS CFX software for modeling of gas flow movement in a reaction chamber when sorbent is obtained on the basis of thermally expanded graphite

О.В. Кириченко, О.С. Діброва, Р.Б. Мотрічук, В.А. Ващенко, С.О. Колінко

Дослідження спалахування та горіння частинок алюмінієво-магнієвих сплавів у продуктах розкладання твердих піротехнічних палив

81

O. Kyrychenko, O. Dibrova, R. Motrichuk, V. Vashchenko, S. Kolinko

The research of ignition and combustion of aluminum and magnesium alloys in the products of decomposition of solid pyrotechnical fuels

УДК 614.841.45

ДОСЛІДЖЕННЯ ВОГНЕСТІЙКОСТІ КАБЕЛЬНИХ ПРОХОДОК ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ РЕАКТИВНОГО ВОГНЕЗАХИСНОГО МАТЕРІАЛУ «ЕНДОТЕРМ ХТ-150»

С.В. Новак¹, канд. техн. наук, ст. наук. співроб., В.Л. Дріжд², канд. техн. наук, О.В. Добростан¹, канд. техн. наук, П.О. Іллюченко^{1*}

¹Український науково-дослідний інститут цивільного захисту, Україна

²Науково-виробниче підприємство «Спецматеріали», Україна

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 11.10.2019

Пройшла рецензування: 09.12.2019

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

вогневий вплив, вогнестійкість, кабель, кабельний короб, кабельна проходка, реактивний вогнезахисний матеріал, теплоізолювальна здатність, цілісність

АНОТАЦІЯ

Наведено результати дослідження вогнестійкості кабельних проходок, у конструкції яких застосовано реактивний вогнезахисний матеріал «Ендотерм ХТ-150». Використано методику дослідження, яка ґрунтується на положеннях ДСТУ Б В.1.1-8, ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2, ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2. Сутність цієї методики полягає у тому, що зразки кабельних проходок встановлюють у вертикальну опорну конструкцію печі й піддають вогневому впливу. За отриманими експериментальними даними оцінюють цілісність і теплоізолювальну здатність кабельних проходок. За результатами дослідження визначено характеристики вогнестійкості кабельних проходок, у конструкції яких застосовано реактивний вогнезахисний матеріал «Ендотерм ХТ-150». Встановлено, що конструктивні параметри цих кабельних проходок суттєво впливають на їхню вогнестійкість. Так, кабельні проходки, в яких кабелі прокладено у сталевих коробах з вогнезахисним покриттям реактивним матеріалом, відповідають класу вогнестійкості EI 150. Кабельна проходка, в якій кабелі з вогнезахисним покриттям реактивним матеріалом безпосередньо проходять через огорожувальну конструкцію, відповідає класу вогнестійкості EI 90. Визначено напрям подальших досліджень, які орієнтовані на виявлення впливу параметрів сталевих кабельних коробів, огорожувальної конструкції, вогнезахисного облицювання із застосуванням реактивного вогнезахисного матеріалу і марок кабелів на вогнестійкість кабельних проходок.

Вступ. Відповідно до Регламенту ЕС № 305/2011 Європейського Парламенту та Ради про встановлення гармонізованих умов для поширення на ринку будівельної продукції [1], Технічного регламенту будівельних виробів, будинків і споруд [2] та державних будівельних норм ДБН В.1.2-7-2008 [3], однією з основних вимог до будівель і споруд є обмеження поширення у них вогню і диму під час пожежі. Одним зі способів обмеження поширення вогню за межі приміщення, де виникла пожежа, є застосування кабельних проходок, вогнестійкість яких відповідає нормованому значенню, яке складає від 15 хв до 240 хв [4]. Кабельною проходкою є виріб або збірний будівельний конструктив, який складається з ущільнювальних матеріалів, кабельних виробів та закладних деталей (труб, коробів, лотків тощо) і призначена для проходки кабелів (кабельних ліній) через стіни й перекриття [5]. Для забезпечення вогнестійкості застосовують різні конструктивні рішення кабельних проходок, одне з яких полягає у використанні кабельних муфт, що складаються з металевих каркасів з внутрішнім шаром з реактивного

вогнезахисного матеріалу, що спучується [6]. Під час пожежі цей вогнезахисний матеріал значно збільшує свою початкову товщину, утворюючи теплоізоляційний шар, який зменшує інтенсивність теплопередачі до поверхні кабельної проходки, яка протилежна вогневому впливу, і перешкоджає поширенню вогню.

Зважаючи на широке використання для вогнезахисту будівельних сталевих конструкцій (колон, балок тощо) реактивних вогнезахисних матеріалів різних марок [7], актуальним слід вважати дослідження вогнестійкості кабельних проходок з використанням таких вогнезахисних матеріалів, спрямовані на подальше удосконалення і розвиток технології створення вогнестійких кабельних проходок.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Забезпечення вогнестійкості огорожувальних конструкцій (стіл, перекриттів), у яких улаштовуються відкриті технологічні прорізи для прокладання інженерних комунікацій (кабелів, повітроводів, трубопроводів) є достатньо складним технічним завданням [8]. Однією з основних проблем,

<https://doi.org/10.33269/nvcz.2019.2.3-13>

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

пов'язаних із заповненням цих технологічних прорізів, є забезпечення необхідного рівня герметичності між контуром прорізу огорожувальної конструкції та конструкцією, яку вбудовують у цей проріз. Це обумовлено тим, що в умовах вогневого впливу інколи достатньо утворення в огорожувальній конструкції лише невеликих тріщин та отворів, щоб через них газоподібні продукти горіння змогли проникнути з одного приміщення в інше і стати причиною поширення пожежі у будівлі [9]. У цьому плані серйозну проблему представляє герметизація вільного простору між пучком кабельних виробів, які проходять через проріз огорожувальної конструкції [8]. Зазвичай для таких цілей застосовують спеціальну конструкцію, яку називають кабельною проходкою [6].

Кабельні проходки призначено для збереження вогнестійкості огорожувальної конструкції у місцях їх проходження через неї. Вважають, що кабельні проходки виконують огорожувальну функцію під час пожежі, якщо впродовж певної тривалості вогневого впливу на її обігрівну поверхню, на її необігрівній поверхні не виникає тріщин або отворів, крізь які проходять продукти горіння, або підвищення температури в довільній точці цієї необігрівної поверхні відносно початкової температури не перевищує допустимого значення.

Характеристиками вогнестійкості кабельних проходок є їхня цілісність і теплоізолювальна здатність під час пожежі [4, 5, 10]. Для оцінювання вогнестійкості кабельних проходок може бути застосовано сценарій умовної або реальної пожежі [11]. Для сценарію умовної пожежі розглядають лише стадію розвинутої пожежі за стандартним температурним режимом. Для сценарію реальної пожежі вогневий вплив оцінюють з урахуванням стадії розвинутої пожежі та стадії її згасання. При цьому для стадії розвинутої пожежі за допустиме підвищення температури на необігрівній поверхні кабельної проходки прийнято 180 °C [5, 10], а для стадії згасання – 240 °C [12]. Класи вогнестійкості кабельних проходок на сьогодні визначають із застосуванням сценарію умовної пожежі за стандартним температурним режимом за методами, визначеними в [4, 5, 10, 13].

Застосовують різні конструкції кабельних проходок, які містять, зокрема, такі вироби й матеріали, як панелі, кабельні муфти, мінераловатні плити з вогнезахисним покриттям, мінеральна вата, модульні системи [6]. У цих конструкціях і виробах широко

використовують реактивні вогнезахисні матеріали, що в умовах вогневого впливу забезпечують утворення теплоізоляційного покриття. Реактивними є вогнезахисні матеріали, склад яких спеціально підібрано з таким розрахунком, щоб забезпечити перебіг хімічної реакції під час нагрівання, аби змінився їх фізичний стан, у такий спосіб забезпечуючи вогнезахист за рахунок теплоізолювального та ендотермічного ефектів [14, 15]. На вогнестійкість кабельних проходок із застосуванням реактивних вогнезахисних матеріалів впливають, зокрема, теплофізичні характеристики, коефіцієнт спучення і товщина нанесення цих матеріалів на поверхню кабельних виробів або кабельних коробів (кабельних муфт), а також параметри кабельних виробів. За результатами експериментально-розрахункових досліджень вогнестійкості кабельної проходки, у конструкції якої для нанесення на поверхню кабелів застосовано реактивний вогнезахисний матеріал марки КС-1, встановлено, що межа вогнестійкості цієї проходки суттєво залежить від товщини вогнезахисного покриття, перерізу жил кабелів та їхнього матеріалу [16]. Показано, що для кабельних проходок зменшення перерізу жил кабелів може призводити не лише до підвищення межі вогнестійкості проходки, а й до її зниження.

Існуючі конструкції кабельних проходок із застосуванням реактивних вогнезахисних матеріалів різних марок забезпечують нормовані класи вогнестійкості від EI 15 до EI 240 [17]. Для подальшого їхнього конструктивного удосконалення є доцільним провести дослідження вогнестійкості кабельних проходок із застосуванням реактивних вогнезахисних матеріалів інших торгових марок, які ефективні для вогнезахисту будівельних сталевих конструкцій (колон, балок тощо) та інших виробів. Серед таких вогнезахисних матеріалів слід виокремити реактивний вогнезахисний матеріал торгової марки «Ендотерм ХТ-150», що спучується під тепловим впливом в умовах пожежі [18]. За результатами дослідження вогнезахисної здатності цього матеріалу у разі його застосування для захисту несучих сталевих конструкцій (колон і балок) визначено його теплофізичні характеристики та значення мінімальної товщини покриття, які забезпечують нормовані класи вогнестійкості [16, 19]. Встановлено, що коефіцієнт теплопровідності реактивного вогнезахисного матеріалу з підвищенням температури від

кімнатної до 520 °С суттєво зменшується від 0,075 Вт/(м°С) до 0,049 Вт/(м°С), а потім збільшується до 0,072 Вт/(м°С) (за температури 950 °С). Для зазначеного температурного діапазону середнє значення його питомої об'ємної теплоємності становить 0,71 МДж/(м³К) [16, 19]. Цей матеріал забезпечує класи вогнестійкості сталевих конструкцій R 15, R 30, R 45, R 60. За результатами дослідження, наведеними в [20], встановлено стійкість до поширення полум'я кабелів, прокладених у металевому кабельному коробі, внутрішня поверхня якого покрита реактивним вогнезахисним матеріалом «Ендотерм ХТ-150», і визначено, що об'ємний коефіцієнт спучення цього матеріалу становить 23,24 см³/г (за методом ДСТУ-Н-П Б В.1.1-29 [21]), а вища теплота згоряння – 12,27 МДж/кг (за методом ДСТУ Б EN ISO 1716 [22]).

Зазначений реактивний вогнезахисний матеріал «Ендотерм ХТ-150», можливо, може бути ефективно застосований і для забезпечення вогнестійкості кабельних проходок. Однак на підтвердження цього припущення не наведені відповідні результати досліджень. Тому є підстави вважати, що невизначеність впливу конструктивних параметрів кабельних проходок із застосуванням реактивного вогнезахисного матеріалу «Ендотерм ХТ-150» на їхню вогнестійкість обумовлює проведення досліджень у цьому напрямі.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є оцінка вогнестійкості кабельних проходок, у конструкції яких застосовано реактивний вогнезахисний матеріал «Ендотерм ХТ-150».

Для досягнення цієї мети були поставлені такі завдання:

- визначити конструктивні рішення кабельних проходок із застосуванням реактивного вогнезахисного матеріалу «Ендотерм ХТ-150»;
- визначити дані щодо теплового стану і цілісності кабельних проходок визначених конструктивних рішень в умовах вогневого впливу;
- провести аналіз отриманих даних і визначити вплив конструктивних параметрів кабельних проходок із застосуванням реактивного вогнезахисного матеріалу «Ендотерм ХТ-150» на їхню вогнестійкість.

Методи дослідження вогнестійкості кабельних проходок із застосуванням реактивного вогнезахисного матеріалу «Ендотерм ХТ-150». Для дослідження вогнестійкості кабельних проходок із

реактивним вогнезахисним матеріалом «Ендотерм ХТ-150» застосовано методику, яка ґрунтується на положеннях ДСТУ Б В.1.1-8 [5], ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2 [11], ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2 [12].

Сутність цієї методики полягає в тому, що зразки кабельних проходок, у конструкції яких застосовано реактивний вогнезахисний матеріал «Ендотерм ХТ-150» (далі – зразки), встановлюють у вертикальну опорну конструкцію (стіну) вогневої печі. На необігрівну поверхню зразків встановлюють термопари. У печі впродовж певної тривалості вогневого впливу створюють стандартний температурний режим [5]. Після досягнення цієї тривалості пальники печі вимикають. На стадії вогневого впливу за стандартним температурним режимом і на стадії охолодження печі проводять вимірювання температури на необігрівній поверхні зразків, а також спостерігають за поведінкою зразків (появою тріщин, отворів, полум'я на необігрівному боці зразків). За отриманими експериментальними даними оцінюють цілісність і теплоізолювальну здатність кабельних проходок. При цьому оцінюванні за граничний стан кабельних проходок за ознакою втрати цілісності приймають стан, за якого у зразках виникають тріщини або отвори, крізь які на їхню необігрівну поверхню проходять продукти горіння або виникає полум'я на необігрівній поверхні зразків [5]. За граничний стан кабельних проходок за ознакою втрати теплоізолювальної здатності приймають стан, за якого підвищення температури на необігрівній поверхні зразків відносно її початкової температури становить 180 °С [5] – на стадії вогневого впливу за стандартним температурним режимом або 240 °С [12] – на стадії охолодження вогневої печі. За результатами оцінювання визначають вплив конструктивних параметрів кабельних проходок із застосуванням реактивного вогнезахисного матеріалу «Ендотерм ХТ-150» на їхню вогнестійкість.

Результати дослідження вогнестійкості кабельних проходок із застосуванням реактивного вогнезахисного матеріалу «Ендотерм ХТ-150». При дослідженні застосовували кабельні проходки (далі – проходки) із реактивним вогнезахисним матеріалом «Ендотерм ХТ-150» таких трьох типів.

У проходках 1 та 2 типів кабелі прокладають у сталевих кабельних коробах, які являють собою лотки з кришками, на внутрішню

та зовнішню поверхню яких нанесено реактивний вогнезахисний матеріал «Ендотерм ХТ-150». Відмінність проходки 2 типу від проходки 1 типу полягає у застосуванні в її конструкції приставних сталевих коробів, які закріплено дюбелями щодо огорожувальної конструкції. У проходці 1 типу сталевий короб безпосередньо перетинає огорожувальну конструкцію. У проходці 3 типу кабелі прокладають крізь огорожувальну конструкцію без застосування сталевих короба або лотка. На ці кабелі на певній відстані від огорожувальної конструкції нанесено реактивний вогнезахисний матеріал «Ендотерм ХТ-150».

Для отримання даних щодо теплового стану і цілісності кабельних проходок визначених конструктивних рішень в умовах вогневого впливу застосовано положення ДСТУ Б В.1.1-8 [5] щодо параметрів зразків проходок (зокрема, їхньої мінімальної кількості й розмірів) для дослідження, а також марок кабелів у них. Відповідно до цих положень для проходки кожного типу використовували по два однакові зразки, які встановлювали у вертикальну опорну конструкцію вогневої печі (далі – огорожувальна конструкція) з ніздрюватого бетону (густиною 500 кг/м^3) завтовшки 200 мм (висотою і шириною по 3 м), і такі кабелі: силовий кабель з алюмінієвими жилами АВВГ $4 \times 185 \text{ мм}^2$, силовий кабель з алюмінієвими жилами АВВГ $3 \times 120 + 1 \times 70 \text{ мм}^2$ та пучок з 10 контрольних кабелів з мідними жилами КВВГ $4 \times 1,5 \text{ мм}^2$. У зразках застосовували сталеві короби шириною 150 мм і висотою 80 мм, з товщиною стінок 1,0 мм.

У зразках проходки 1 типу кабелі, які укладені у сталевому коробі довжиною 1400 мм, перетинають огорожувальну конструкцію та виходять з обох її боків на 500 мм. Відносно огорожувальної конструкції сталевий короб ущільнений мінераловатним матеріалом густиною 135 кг/м^3 . Середня товщина шару вогнезахисного покриття на внутрішній поверхні сталевих короба становить 0,68 мм (сухий стан). На зовнішню поверхню сталевих короба вогнезахисний матеріал нанесено на відстань 200 мм від огорожувальної конструкції (з обох її боків), середня товщина цього покриття складає 0,60 мм. Закріплення відрізків кабелів до дна лотка здійснено двома сталевими перемичками, розташованими на відстані 50 мм від огорожувальної конструкції, за допомогою шпильок та гайок марки М6. Для улаштування кожної перемички були застосовані дві шпильки. Перемички виконані зі

сталевих стрічок товщиною 2,0 мм та шириною 75 мм кожна. Поверхні огорожувальної конструкції (з обох її боків) на відстані 40 мм від сталевих короба покриті шаром реактивного вогнезахисного матеріалу середньою товщиною 0,80 мм.

У зразках проходки 2 типу кабелі укладені у прорізі огорожувальної конструкції розміром $150 \times 80 \times 200 \text{ мм}$ та з обох її боків спираються на лотки приставних сталевих коробів, які закріплено відносно огорожувальної конструкції за допомогою приварних фланців розміром $250 \times 170 \times 2 \text{ мм}$. Кожний фланець закріплений на огорожувальній конструкції за допомогою чотирьох забивних дюбелів. Довжина кожного приставного короба становить 600 мм. Середня товщина шару вогнезахисного покриття на внутрішній поверхні сталевих короба становить 0,68 мм, на зовнішній його поверхні (на відстань 200 мм від огорожувальної конструкції) і на поверхні фланців – 0,70 мм. Інші конструктивні параметри такі ж, як і у зразках проходки 1 типу.

У зразках проходок 1 і 2 типів сталеві короби з обох боків огорожувальної конструкції на відстані 300 мм від неї спираються на кронштейни, виконані з арматури $\varnothing 10 \text{ A500C}$. Торці сталевих коробів з обігрівного боку ущільнені мінераловатними плитами густиною 135 кг/м^3 на глибину 100 мм.

У зразках проходки 3 типу кабелі перетинають огорожувальну конструкцію та виходять з її обох боків на 500 мм. На поверхню кожного кабелю та пучка з контрольних кабелів на відстань 400 мм від огорожувальної конструкції (з обох її боків), а також на поверхню кожного кабелю та пучка з контрольних кабелів, що розташована всередині огорожувальної конструкції, нанесено шар реактивного вогнезахисного матеріалу, середня товщина якого складає 0,70 мм. На поверхню огорожувальної конструкції розміром $450 \times 150 \text{ мм}$, з обох її боків, біля місць виходу кабелів та пучка з контрольних кабелів нанесено вогнезахисне покриття середньою товщиною 0,70 мм. Місця виходу кабелів та пучка з контрольних кабелів з огорожувальної конструкції ущільнені мінераловатним матеріалом густиною 135 кг/м^3 . Кабелі та пучок з контрольних кабелів з обох боків огорожувальної конструкції на відстані 250 мм від неї спираються на кронштейни, що виконані з арматури $\varnothing 10 \text{ A500C}$.

Схеми розташування термопар на необігрівій поверхні зразків проходок 1–3 типів наведено на рисунку 1.

На кожному зразку проходки 1 типу встановлено шість термопар (рисунк 1а). Дві з цих термопар (T_{1-1} , T_{1-2}) розташовано на огорожувальній конструкції на відстані 25 мм від поверхні лотка і кришки короба. Дві термопари (T_{1-3} , T_{1-5}) встановлено на лотку на відстані 25 мм від огорожувальної конструкції та 25 мм від шару вогнезахисного покриття. На кришці розташовано дві термопари (T_{1-4} , T_{1-6}) на відстані 25 мм від огорожувальної конструкції та 25 мм від шару вогнезахисного покриття.

Для проходки 2 типу на кожному зразку встановлено вісім термопар (рисунк 1б). У цій проходці, у порівнянні з проходкою 1 типу, на огорожувальній конструкції на відстані 25 мм від поверхні фланців додатково встановлено дві

термопари (T_{2-1} , T_{2-2}). Місця розташування інших термопар такі ж, як і в проходки 1 типу.

На кожному зразку проходки 3 типу встановлено дев'ять термопар (рисунк 1в). Три термопари (T_{3-1} , T_{3-4} , T_{3-7}) встановлено на огорожувальній конструкції на відстані 25 мм від поверхні кабелів. На кабелях встановлено три термопари (T_{3-2} , T_{3-5} , T_{3-8}) на відстані 25 мм від огорожувальної конструкції та три термопари (T_{3-3} , T_{3-6} , T_{3-9}) на відстані 25 мм від шару вогнезахисного покриття.

Зразки проходок 1 і 2 типів встановлювали в одну вертикальну опорну конструкцію печі, й тривалість вогневого впливу на них за стандартним температурним режимом становила 150 хв. Для зразків проходки 3 типу ця тривалість дорівнювала 90 хв.

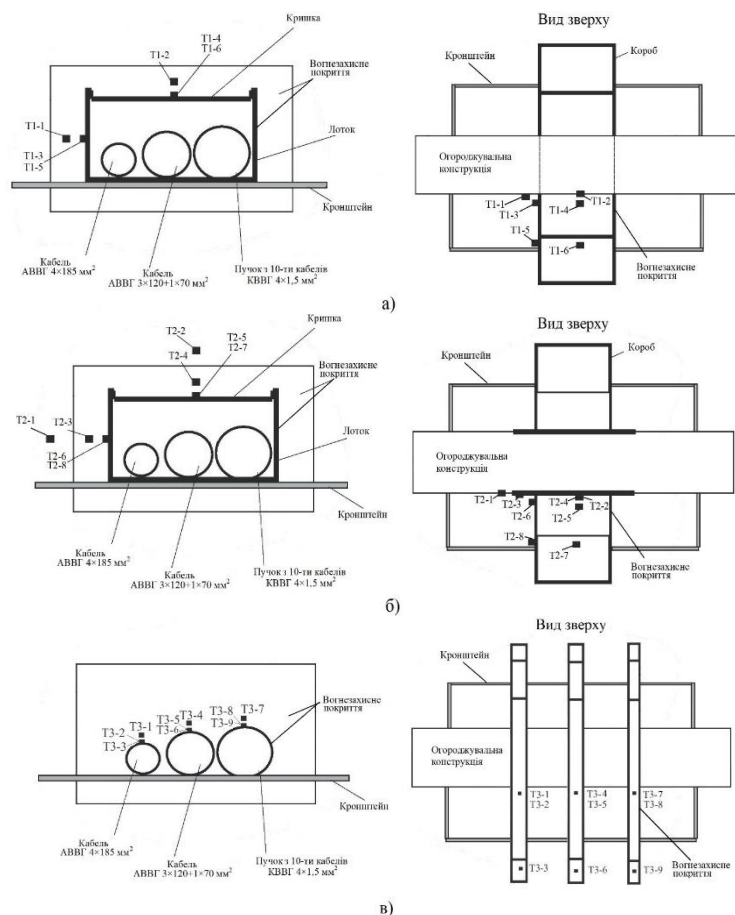
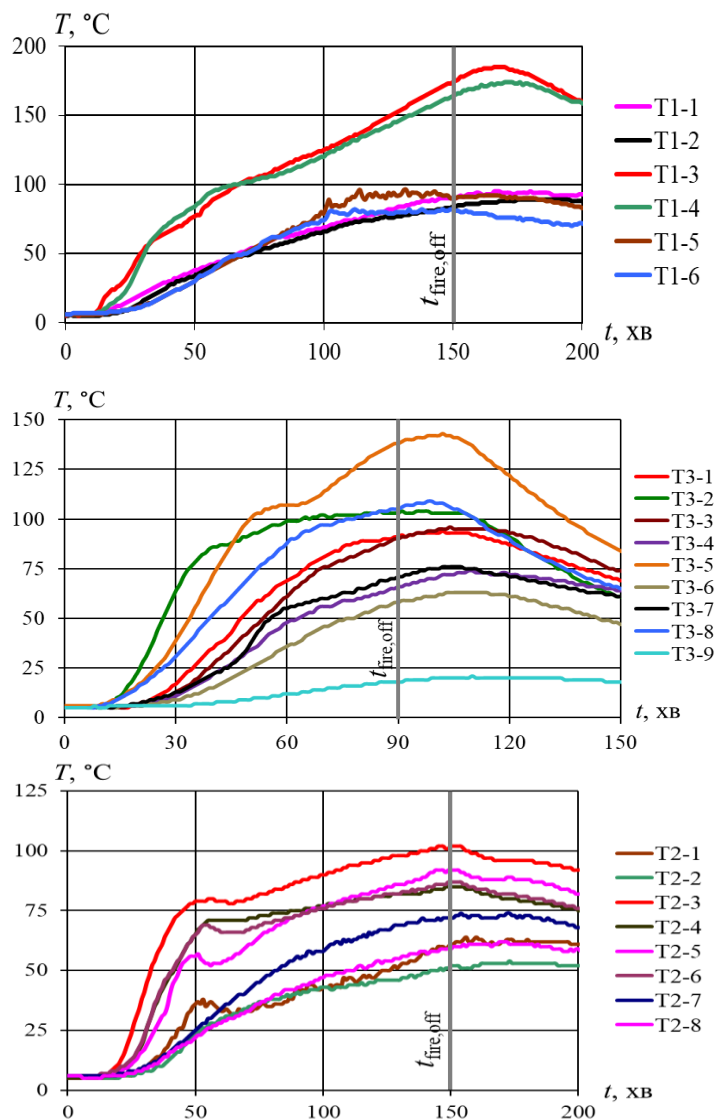


Рисунок 1 – Схеми розташування термопар на зразках проходок 1 типу (а), 2 типу (б) і 3 типу (в)

Визначення даних щодо теплового стану і цілісності зразків проходок проводили на стадії нагрівання печі й на стадії її охолодження. Результати вимірювання температури на необігрітій поверхні зразків проходок 1–3 типів у вигляді її залежностей від тривалості вогневого впливу (з урахуванням стадії

охолодження печі) надано на рисунку 2. На цих рисунках наведено залежності, які визначені для зразків (одного з двох однакових зразків для кожного типу проходки), для яких отримано більші максимальні значення температури на їхній необігрітій поверхні.



За експериментальними даними встановлено, що максимальне підвищення температури на необігрівій поверхні зразків проходок відносно початкової температури цієї поверхні становить:

- для проходки 1 типу 173 °C (T_{1-3} – на поверхні вогнезахисного покриття лотка коробу на відстані 25 мм від огорожувальної конструкції) на стадії нагрівання печі та 180 °C (T_{1-3}) на стадії охолодження печі;

- для проходки 2 типу 97 °C (T_{2-3} – на поверхні вогнезахисного покриття фланцю на відстані 25 мм від короба) на стадії нагрівання печі та 97 °C (T_{2-3}) на стадії охолодження печі;

- для проходки 3 типу 134 °C (T_{3-5} – на поверхні вогнезахисного покриття кабелю на відстані 25 мм від огорожувальної конструкції) на стадії нагрівання печі та 137 °C (T_{3-5}) на стадії охолодження печі.

Із порівняння отриманих значень максимального підвищення температури на

необігрівій поверхні зразків проходок 1–3 типів з граничними температурами (180 °C – на стадії вогневого впливу за стандартним температурним режимом та 240 °C – на стадії охолодження вогневої печі) випливає, що зазначені проходки зберігають свою теплоізолявальну здатність.

За результатами спостережень за дослідними зразками проходок 1–3 типів встановлено відсутність виникнення в них тріщин або отворів, крізь які на їхню необігріву поверхню проходять продукти горіння, та відсутність полум'я на цій поверхні, що свідчить про збереженість цілісності цих проходок.

Враховуючи те, що характеристики вогнестійкості зберігаються у зазначених умовах вогневого впливу, відповідно до 9.3 ДСТУ Б В.1.1-8 [5] клас вогнестійкості проходок 1 і 2 типів становить EI 150, а проходки 3 типу – EI 90.

Обговорення результатів дослідження вогнестійкості кабельних проходок із застосуванням реактивного вогнезахисного матеріалу «Ендотерм ХТ-150». Як впливає з отриманих результатів, температура на необігрівній поверхні зразків має найменші значення для проходки 2 типу, у конструкції якої застосовано приставні сталеві коробки. Це обумовлено меншою інтенсивністю теплопередачі від поверхні зразків, яка піддається вогневому впливу з боку печі, до їхньої необігрівної поверхні, ніж для проходок 1 і 3 типів. Для проходки 1 типу значна частина теплоти з обігрівної поверхні передається теплопровідністю по стінках суцільного сталевого короба, який перетинає огорожувальну конструкцію, до необігрівної поверхні короба. Через те, що у проходці 2 типу замість суцільного сталевого короба застосовано два приставні сталеві коробки, між якими є проріз огорожувальної конструкції з повітряним середовищем, частина цієї теплоти для проходки 2 типу менша, ніж для проходки 1 типу. Для проходки 3 типу теплота з боку вогневого впливу до їхньої необігрівної поверхні передається теплопровідністю по металевих жилах кабелів. Через значний переріз жил кабелів у порівнянні з перерізом сталевого короба інтенсивність теплопередачі для проходки 3 типу більша, ніж для проходок 1 і 2 типів.

Найбільше підвищення температури на необігрівній поверхні зразків проходок 1 і 3 типів відносно початкової температури цієї поверхні відбувається на відстані 25 мм від огорожувальної конструкції на поверхні вогнезахисного покриття короба та кабелю, а для проходки 2 типу – на відстані 25 мм від короба на поверхні вогнезахисного покриття фланцю. Значення температури необігрівної поверхні зразків на відстані 25 мм від шару вогнезахисного покриття короба, фланцю та кабелю значно менші за величини, отримані для відстані 25 мм від огорожувальної конструкції. Ці дані свідчать про те, що найбільш напруженими місцями цих кабельних проходок з точки зору їхнього теплового стану є місця проходу коробів та кабелів через огорожувальну конструкцію.

Із порівняння отриманих даних щодо підвищення температури на необігрівній поверхні зразків на стадії нагрівання печі й на стадії її охолодження випливає, що різниця у цих значеннях є незначною і не перевищує 8 °С, що показує відсутність впливу стадії загасання

пожежі на результати оцінювання вогнестійкості кабельних проходок зазначених типів.

Із отриманих результатів дослідження випливає, що конструктивні рішення кабельних проходок, в яких застосовано реактивний вогнезахисний матеріал «Ендотерм ХТ-150», відповідають класу вогнестійкості EI 150 у разі прокладання кабелів у сталевих коробах і класу вогнестійкості EI 90 у разі проходу кабелів безпосередньо через огорожувальну конструкцію. Таке ствердження можна вважати за доцільне з практичної точки зору, тому що дозволяє обґрунтовано підходити до визначення конструктивних рішень, які забезпечують обмеження поширення вогню по кабелях через огорожувальні конструкції. Однак неможливо не зазначити, що результати проведеного дослідження мають певну невизначеність. Це проявляється, у першу чергу, в тому, що при дослідженні було застосовано сталевий кабельний короб і опорну конструкцію вогневої печі тільки одного типорозміру. Під час використання іншого кабельного короба або опорної конструкції, що побудована з іншого матеріалу і (або) має ширину меншу ніж 200 мм, не виключена можливість отримання результатів щодо вогнестійкості кабельних проходок зазначених конструктивних рішень, які будуть відрізнятися від отриманих у даному дослідженні. Можливість отримання таких же результатів не можна виключити і при застосуванні в проходці 3 типу кабелів інших марок. Крім цього, не було досліджено вплив довжини шару вогнезахисного покриття на коробі й кабелях на тепловий стан кабельних проходок визначених конструктивних рішень в умовах вогневого впливу. Неможливість зняти названі обмеження у межах даного дослідження породжує потенційно цікавий напрям подальших досліджень. Вони, зокрема, можуть бути орієнтовані на виявлення впливу параметрів сталевого кабельного короба, огорожувальної конструкції, вогнезахисного облицювання із застосуванням реактивного вогнезахисного матеріалу і марок кабелів на вогнестійкість кабельних проходок. Таке виявлення дозволить визначити конструктивні рішення кабельних проходок, прийнятні для забезпечення їхньої цілісності й теплоізоляційної здатності для широкого діапазону тривалості вогневого впливу.

Висновки. Проведеним дослідженням визначено характеристики вогнестійкості кабельних проходок, у конструкції яких застосовано реактивний вогнезахисний матеріал «Ендотерм ХТ-150». Встановлено, що

конструктивні параметри цих кабельних проходок суттєво впливають на їхню вогнестійкість. Так кабельні проходки, в яких кабелі прокладено у сталевих коробах з вогнезахисним покриттям реактивним матеріалом, відповідають класу вогнестійкості EI 150. Кабельна проходка, в якій кабелі з вогнезахисним покриттям реактивним матеріалом безпосередньо проходять через огорожувальну конструкцію, відповідає класу вогнестійкості EI 90. В умовах вогневого впливу температура на необігрівній поверхні має найменші значення для кабельної проходки, у конструкції якої застосовано приставні сталеві коробки. Для кабельної проходки з суцільним сталевим коробом значення цієї температури на

декілька десятків градусів більші. Найбільшу температуру на необігрівній поверхні має кабельна проходка, у конструкції якої не застосовано сталевих короба.

Визначено напрям подальших досліджень, які орієнтовані на виявлення впливу параметрів сталевих кабельних короба, огорожувальної конструкції, вогнезахисного облицювання із застосуванням реактивного вогнезахисного матеріалу і марок кабелів на вогнестійкість кабельних проходок, що дозволять встановити конструктивні рішення кабельних проходок, прийнятні для забезпечення їхньої цілісності й теплоізолювальної здатності для широкого діапазону тривалості вогневого впливу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Regulation (EU) № 305/2011 of the European Parliament and of the Council of 9 March 2011 laying down harmonized conditions for the marketing of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC (Регламент (ЄС) № 305/2011 Європейського Парламенту та Ради від 9 березня 2011 року, що встановлює гармонізовані умови для розміщення на ринку будівельних виробів та скасовує Директиву Ради 89/106/ЄЕС). – ОJ L 88, 4.4.2011. Р. 5–43.
2. Технічний регламент будівельних виробів, будівель і споруд. – Офіційний вісник України, 2006 р., № 51, ст. 3415.
3. ДБН В.1.2-7-2008 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Основні вимоги до будівель і споруд. Пожежна безпека.
4. ДСТУ EN 13501-2:2016 Пожежна класифікація будівельних виробів і будівельних конструкцій. Частина 2. Класифікація за результатами випробувань на вогнестійкість, крім складників вентиляційних систем (EN 13501-2:2007+A1:2009, IDT).
5. ДСТУ Б В.1.1-8:2003 Захист від пожежі. Кабельні проходки. Метод випробування на вогнестійкість.
6. EAD 350454-00-1104 Fire stopping and fire sealing products. Penetration seals (Матеріали та вироби для перешкодження проникненню вогню і вогнезахисного заповнення. Проходки інженерних комунікацій).
7. Каталог средств огнезащиты стальных конструкций 2017 / К. Калафат, Л. Вахитова // Публикация. Метінвест. – 2017. – 91 с.
8. Трушкин Д.В. Проблемы обеспечения огнестойкости противопожарных преград при прокладке инженерных коммуникаций / Д.В. Трушкин, Е.С. Кандрашкин // Пожаровзрывобезопасность. – 2015. – Т. 24, № 12. – С. 15–21.
9. Dey M.K. An evaluation of risk methods for prioritizing fire protection features: a procedure for fire barrier penetration seals // Nuclear Engineering and Design. – 2004. – Vol. 232, № 2. – Р. 165–171. DOI: 10.1016/j.nucengdes.2003.11.035.
10. EN 1366-3:2009 Fire resistance tests for service installations – Part 3: Penetration seals (Випробування інженерних систем на вогнестійкість. Частина 3. Проходки інженерних комунікацій).
11. ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2:2010 Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-2. Загальні дії. Дії на конструкції під час пожежі (EN 1991-1-2:2002, IDT).
12. ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012 Єврокод 2. Проектування залізобетонних конструкцій. Частина 1-2. Загальні положення. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість (EN 1992-1-2:2004, IDT).
13. EN 15882-3:2009 Extended applications of results from fire resistance tests for service installations – Part 3: Penetration seals (Розширене застосування результатів випробувань інженерних систем на вогнестійкість. Частина 3. Проходки інженерних комунікацій).
14. ETAG № 018-1:2004 Guide for the European technical approval of fire protective products – Part 1: General (Настанова щодо технічного схвалення вогнезахисних матеріалів в Європі. Частина 1: Загальні вимоги).
15. ETAG № 018-2:2013 Guide for the European technical approval of fire protective products – Part 2: Reactive coatings for fire protection of steel elements (Настанова щодо технічного схвалення вогнезахисних матеріалів в Європі. Частина 2: Реактивні вогнезахисні матеріали для захисту сталевих конструкцій).
16. Круковский П.Г. Обратные задачи тепломассопереноса (общий инженерный подход) – Киев: Институт технической теплофизики НАН Украины, 1996. – 218 с.
17. Системы, препятствующие распространению огня. Каталог 2017. – 167 с.
<https://profsector.com/media/catalogs/5a9800c107223.pdf>
18. ТУ У 24.3-13481691-007-2003 Суміш та покриття вогнезахисні спучені «Ендотерм ХТ-150». Технічні умови.
19. Novak S.V. Identification of thermophysical characteristics of the fire-protective coatings according to the data of testing on fire-resistance / S.V. Novak, I.A. Kharchenko, P.G. Krukovsky // 2nd European Thermal-Sciences and 14th UIT National Heat Transfer Conference 1996. – Rome, Italy: Edizioni ETS. – 1996. – Vol. 2. – Р. 689–694.
20. Новак С.В. Підвищення стійкості кабелів до поширення полум'я шляхом облицювання сталевих кабельних короба реактивним вогнезахисним матеріалом / С.В. Новак, В.Л. Дріжд, П.О. Ілльченко // Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека. – 2019. – № 1 (7). – С. 64–73.
21. ДСТУ-Н-П Б В.1.1-29:2010 Захист від пожежі. Вогнезахисне оброблення будівельних конструкцій. Загальні вимоги та методи контролювання.
22. ДСТУ Б EN ISO 1716:2011 Випробування виробів щодо реакції на вогонь. Визначення вищої (нижчої) теплоти згорання (EN ISO 1716:2010, IDT).

REFERENCES

1. Regulation (EU) № 305/2011 of the European Parliament and of the Council of 9 March 2011 laying down harmonized conditions for the marketing of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC (Регламент (ЄС) № 305/2011 . – OJ L 88, 4.4.2011. P. 5–43.
2. Tekhnichniy rehlement budivelnnykh vyrobiv, budivel i sporud. – Ofitsiinyi visnyk Ukrainy, 2006 r., № 51, st. 3415.
3. DBN V.1.2-7-2008 Systema zabezpechennia nadiinosti ta bezpeky budivelnnykh ob'ektiv. Osnovni vymohy do budivel i sporud. Pozhezhna bezpeka.
4. DSTU EN 13501-2:2016 Pozhezhna klasyfikatsiia budivelnnykh vyrobiv i budivelnnykh konstruksii. Chastyna 2. Klasyfikatsiia za rezultatamy vyprobuvannia na vohnestiikist, krim skladnykh ventyliatsiinykh system (EN 13501-2:2007+A1:2009, IDT).
5. DSTU B V.1.1-8:2003 Zakhyst vid pozhezhi. Kabelni prokhodky. Metod vyprobuvannia na vohnestiikist.
6. EAD 350454-00-1104 Fire stopping and fire sealing products. Penetration seals.
7. Katalog sredstv ohnezashchyty stalnykh konstruksiy 2017 / K. Kalafat, L. Vakhytova // Publykatsiya. Metinvest. – 2017. – 91 s.
8. Trushkyn D.V. Problemi obespecheniya ohnestoikosti protyvopozharnykh prehrad pry prokladke ynzhenernykh kommunykatsiy / D.V. Trushkyn, E.S. Kandrashkyn // Pozharovzrivobezопасnost. – 2015. – T. 24, № 12. – S. 15–21.
9. Dey M.K. An evaluation of risk methods for prioritizing fire protection features: a procedure for fire barrier penetration seals // Nuclear Engineering and Design. – 2004. – Vol. 232, № 2. – P. 165–171. DOI: 10.1016/j.nucengdes.2003.11.035.
10. EN 1366-3:2009 Fire resistance tests for service installations – Part 3: Penetration seals
11. DSTU-N B EN 1991-1-2:2010 Yevrokod 1. Dii na konstruksii. Chastyna 1-2. Zahalni dii. Dii na konstruksii pid chas pozhezhi (EN 1991-1-2:2002, IDT).
12. DSTU-N B EN 1992-1-2:2012 Yevrokod 2. Proektuvannia zalizobetonnykh konstruksii. Chastyna 1-2. Zahalni polozhennia. Rozrakhunok konstruksii na vohnestiikist (EN 1992-1-2:2004, IDT).
13. EN 15882-3:2009 Extended applications of results from fire resistance tests for service installations – Part 3: Penetration seals (Rozshyrenne zastosuvannia rezultativ vyprobuvannia inzhenernykh system na vohnestiikist. Chastyna 3. Prokhodky inzhenernykh komunikatsii).
14. ETAG № 018-1:2004 Guide for the European technical approval of fire protective products – Part 1: General.
15. ETAG № 018-2:2013 Guide for the European technical approval of fire protective products – Part 2: Reactive coatings for fire protection of steel elements.
16. Krukovskiy P.G. Obratnye zadachi teplomassoperenosa (obshchii inzhenernyy podhod) – Kiev: Institut tehnichejskoj teplofiziki NAN Ukrainy, 1996. – 218 s.
17. Sistemy, prepjatsvujushhie rasprostraneniya ognja. Katalog 2017. – 167 s. <https://profsector.com/media/catalogs/5a9800c107223.pdf>
18. TU U 24.3-13481691-007-2003 Sumish ta pokrittja vogniezahisni spucheni «Endoterm HT-150». Tehnichni umovi.
19. Novak S.V. Identification of thermophysical characteristics of the fire-protective coatings according to the data of testing on fire-resistance / S.V. Novak, I.A. Kharchenko, P.G. Krukovsky // 2nd European Thermal-Sciences and 14th UIT National Heat Transfer Conference 1996. – Rome, Italy: Edizioni ETS. – 1996. – Vol. 2. – P. 689–694.
20. Novak S.V. Pidvishhennja stijkosti kabeliv do poshirennja polum'ja shljahom oblicjuvannja metalevogo kabel'nogo korobu reaktivnim vogniezahisnim materialom / S.V. Novak, V.L. Drizhd, P.O. Illjuchenko // Naukovij visnik: Civil'nij zahist ta pozhezhna bezpeka. – 2019. – № 1 (7). – S. 64–73.
21. DSTU-N-P B V.1.1-29:2010 Zahist vid pozhezhi. Vogniezahisne obrobljannja budivel'nykh konstrukcij. Zagal'ni vimogi ta metodi kontroljuvannja.
22. DSTU B EN ISO 1716:2011 Viprobuvannja virobiv shhodo reakcii na vagon'. Vznachennja vishhoi (nizhchoi) teploti zgorannja (EN ISO 1716:2010, IDT).

RESEARCH OF FIRE RESISTANCE OF CABLE PUNCHES WITH THE APPLICATION OF REACTIVE FIRE PROTECTION MATERIAL "ENDOTHERM HT-150"

S. Novak¹, Cand. of Sc. (Eng.), Sen. St. Sc., V. Drizhd², Cand. of Sc. (Eng.),

O. Dobrostan¹, Cand. of Sc. (Eng.), P. Illyuchenko¹

¹The Ukrainian Civil Protection Research Institute, Ukraine

²Scientific and production enterprise "Special materials", Ukraine

KEYWORDS

cable, cable box, cable penetration, fire impact, fire resistance, integrity, reactive fire protection material, thermal insulation ability

ANNOTATION

The results of the study of fire resistance of cable penetrations, in the design of which used a reactive fire protection material "Endotherm HT-150". The research methodology based on the provisions of DSTU B B.1.1-8, DSTU-N B EN 1991-1-2, DSTU-N B EN 1992-1-2 has been applied. The essence of this technique is that samples of cable penetrations are installed in a vertical support structure of the furnace. At the stage of fire exposure under the standard temperature regime and at the stage of cooling the furnace, temperature is measured on the unheated surface of the specimens, and their behavior is observed (cracks, holes, flames appear on the unheated side of the specimens). According to the experimental data, the integrity and thermal insulation capacity of cable penetrations are evaluated. According to the results of the research, the characteristics of fire resistance of cable penetrations with the use of reactive fire protection material "Endotherm HT-150" were determined. It is established that the design parameters of these cable penetrations significantly affect their fire resistance. So the cable penetrations, in which the cables are laid in steel boxes with reactive fire protection coating, correspond to the class of fire resistance EI 150. Cable penetration, in which cables with a reactive fire protection coating directly pass through the enclosure structure, corresponds to the class of fire resistance EI 90. Under fire conditions, the temperature on the unheated surface is of the lowest value for the cable penetration, in which the structural steel boxes are used. For a cable duct with a solid steel box, this temperature is several tens of degrees higher. The highest temperature on the unheated surface is provided by the cable penetration, in the construction of which no steel box is used. The direction of further researches which are focused on revealing of influence of parameters of a steel cable box, a protective structure, fire protection lining with application of reactive fire protection material and brands of cables on the fire resistance of cable penetrations is determined.

ИССЛЕДОВАНИЕ ОГНЕСТОЙКОСТИ КАБЕЛЬНЫХ ПРОХОДОВ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ РЕАКТИВНОГО ОГНЕЗАЩИТНОГО МАТЕРИАЛА «ЭНДОТЕРМ ХТ-150»

С.В. Новак¹, канд. техн. наук, ст. научн. сотр., В.Л. Дрижд², канд. техн. наук,

А.В. Добростан¹, канд. техн. наук, П.А. Иллюченко¹

¹Украинский научно-исследовательский институт гражданской защиты, Украина

²Научно-производственное предприятие «Спецматериалы», Украина

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

кабель, кабельный короб, кабельная проходка, огневое воздействие, огнестойкость, реактивный огнезащитный материал, теплоизолирующая способность, целостность

АННОТАЦИЯ

Приведены результаты исследования огнестойкости кабельных проходов, в конструкции которых использован реактивный огнезащитный материал «Эндотерм ХТ-150». Применена методика исследования, основанная на положениях ДСТУ Б В.1.1-8, ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2, ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2. Сущность этой методики заключается в том, что образцы кабельных проходов устанавливают в вертикальную опорную конструкцию печи и подвергают огневому воздействию. По полученным экспериментальным данным оценивают целостность и теплоизолирующую способность кабельных проходов.

По результатам исследования определены характеристики огнестойкости кабельных проходов, в конструкции которых применен реактивный огнезащитный материал «Эндотерм ХТ-150». Установлено, что конструктивные параметры этих кабельных проходов существенно влияют на их огнестойкость. Так кабельные проходки, в которых кабели проложены в стальных коробах с

огнезащитным покрытием реактивным материалом, соответствуют классу огнестойкости EI 150. Кабельная проходка, в которой кабели с огнезащитным покрытием реактивным материалом непосредственно проходят через ограждающую конструкцию, соответствует классу огнестойкости EI 90. Определено направление дальнейших исследований, которые ориентированы на выявление влияния параметров стального кабельного короба, ограждающей конструкции, огнезащитной облицовки с применением реактивного огнезащитного материала и марок кабелей на огнестойкость кабельных проходок.

УДК 614.843.8

ВПЛИВ РОБОЧИХ ПАРАМЕТРІВ НА ТЕХНІЧНІ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ЗРАЗКІВ СТОЛІВ-ГЕНЕРАТОРІВ ПІНИ ВИСОКОЇ КРАТНОСТІ

О.М. Тимошенко, В.Ф. Чуян*, А.О. Грачов

Український науково-дослідний інститут цивільного захисту, Україна

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 16.10.2019

Пройшла рецензування: 06.11.2019

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

ствол-генератор піни високої кратності, кратність піни, концентрація робочого розчину піноутворювача, піноутворювач, розпилювач робочого розчину піноутворювача

АНОТАЦІЯ

Проаналізовано сучасний стан застосування піни високої кратності як засобу пожежогасіння об'ємним способом та обґрунтовано необхідність розроблення в Україні пожежних стволів-генераторів піни високої кратності. Проведено патентний пошук пристроїв для генерування піни високої кратності з робочих розчинів піноутворювачів, де вказано на особливості складників під час утворення піни високої кратності. Наведено результати досліджень робочих параметрів розроблених експериментальних зразків генераторів піни високої кратності вентиляторного та ежекційного типів. Установлено залежність величини кратності піни, продуктивності за піною та кількості витраченого робочого розчину від співвідношень геометричних розмірів складників генераторів і витрати (тиску) робочого розчину піноутворювача та витрати повітряного потоку. Розроблено два функціональні макети генераторів піни високої кратності ежекційного та вентиляторного типу.

Відомо, що на сьогодні в Україні найбільш розповсюдженою вогнегасною речовиною є вода, що подається у вигляді компактних чи розпилених струменів. Разом з тим, низка властивостей води ускладнює або унеможлиблює її застосування для гасіння певних горючих рідин і твердих горючих матеріалів. Тому для цілей пожежогасіння застосовують й інші вогнегасні речовини, зокрема піноутворювачі, з водних розчинів яких за допомогою спеціального обладнання генерують піну.

У пожежно-рятувальних підрозділах ДСНС України найчастіше використовують засоби генерування піни низької кратності (кратність піни не більш ніж 20) та середньої кратності (кратність піни від 21 до 200). Таку піну отримують із застосуванням відповідних стволів-генераторів, принцип роботи яких базується на ежекції повітря струменем розчину, що подається через ствол. На жаль, на оснащенні у пожежно-рятувальних підрозділах ДСНС України практично відсутні засоби чи обладнання для генерування піни високої кратності (кратність піни понад 200). Лише в поодиноких випадках наявні димососи ДПЕ-7 з піногенерувальним пристроєм ПГУ-120, які не застосовуються під час пожежогасіння, а зберігаються на складах як технічно та фізично застаріле устаткування. До того ж, за наявними даними, на сьогодні жоден об'єкт в Україні не обладнано стаціонарною системою

пожежогасіння піною високої кратності. З цієї причини застосування піни високої кратності як засобу пожежогасіння об'ємним способом фактично неможливе. Відповідно, гасіння пожеж у підвальних та інших подібних приміщеннях з високим ступенем герметичності, а також ангарів для повітряних суден та інших подібних об'єктів ускладнене.

Зважаючи на це, в УкрНДЦЗ поставлено науково-дослідну роботу «Провести дослідження щодо визначення технічних рішень для генерування піни високої кратності», у межах якої проведено аналітичні дослідження, опрацьовано нормативні документи та здійснено патентний пошук щодо отримання піни високої кратності та генераторів піни високої кратності (далі – ГПВК), у результаті яких встановлено, що у провідних країнах світу застосовують два типи ГПВК: переносні (вентиляторні, де повітря для генерування піни подається за допомогою вентилятора) та стаціонарні (ежекційні, де повітря для генерування піни всмоктується робочим розчином). До них належать вироби «NAFFCO» (Об'єднані Арабські Емірати), «JET-X» (США), «Renz GmbH» (Німеччина), «Sainath Fire» (Індія), «BKG 200», ГПВК (Е), ГВПЕ «Фаворит», ГВП-50 «Феникс», ДВПЕ-200 «Бурун», «Атлант» (Росія) тощо. Патентні дослідження вказали на наявність різноманітних технічних рішень щодо генерування піни високої кратності, переважна кількість

знайдених документів стосується покращення роботи ГПВК та більш ефективного їх використання для гасіння пожеж, натомість вони містять обмаль інформації щодо побудови й технічних характеристик піногенераторів. Разом з цим, в Україні відповідне обладнання, зокрема ГПВК, серійно не виробляється.

Чинні в Європі норми щодо компонентів систем пінного пожежогасіння EN 13565-1 [1], які в Україні прийнято як ДСТУ EN 13565-1 [2], а також інші нормативні документи не містять положень, які відповідали б на питання про те, яким чином побудувати ГПВК. Тому метою вищезазначеної роботи було експериментальне визначення залежності технічних характеристик засобу для отримання піни високої кратності, зокрема, співвідношень геометричних розмірів складників, витрати (тиску) робочого розчину піноутворювача, витрати повітряного потоку на його основні показники: кратність піни, продуктивність за піною та питома витрата

робочого розчину піноутворювача на одиницю об'єму одержаної піни.

З використанням результатів аналізування літературних даних для проведення експериментальних досліджень з метою оцінювання робочих параметрів ГПВК вентиляторного типу було розроблено та виготовлено експериментальний зразок функціональної моделі ГПВК з тканинною сіткою піноутворення (далі – функціональна модель ГПВК 500ВТ, де 500 – діаметр лопатей вентилятора, мм, В – вентиляторний тип, Т – виконання сітки піноутворення з тканини).

Функціональна модель ГПВК 500ВТ складається з таких основних вузлів: осьовий повітряний електричний вентилятор, корпус ГПВК, гідравлічний трубопровід з розпилювальною форсункою, тканинна сітка піноутворення.

Загальний вид функціональної моделі ГПВК 500ВТ наведено на рисунку 1.

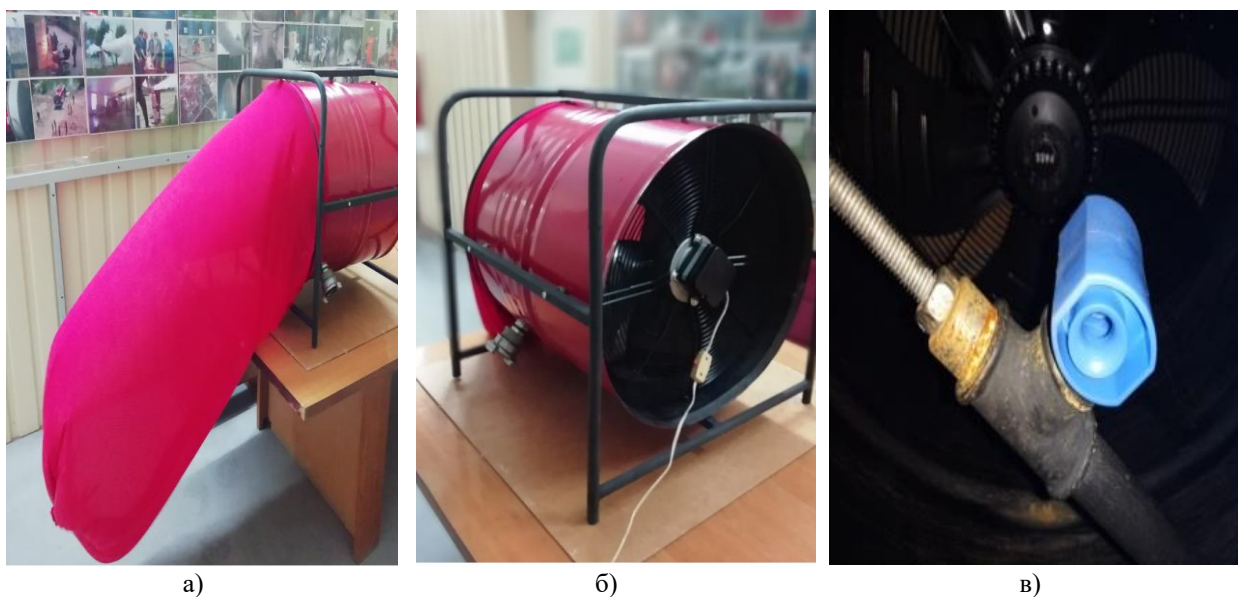


Рисунок 1 – Загальний вид функціональної моделі ГПВК 500ВТ:
а) вид спереду; б) вид ззаду; в) вид спереду (без сітки піноутворення) на розпилювальну форсунку

Технічні характеристики функціональної моделі ГПВК 500ВТ наведено нижче.

1. Технічні характеристики вентилятора, що застосовано:

– марка	YWF4E-500B;
– тип	осьовий, з зовнішнім ротором;
– продуктивність за повітрям, м ³ /год	6420;
– діаметр лопатей, мм	500;
– потужність електричного двигуна, Вт	420;
– напруга електроживлення, В	220;
– швидкість обертання, об/хв	1320;
– ступінь захисту оболонок електродвигуна	IP 54.

2. У конструкції функціональної моделі ГПВК 500ВТ застосовано тангенціальний розпилювач рідини фірми «Lechler» марки 423.128 з факелом розпилювання «повний конус», з кутом конуса розпилювання 120°.

3. Як сітку піноутворення застосовано перфоровану синтетичну тканину. Загальний вид фрагмента тканини піногенеруючої сітки наведено на рисунку 2.

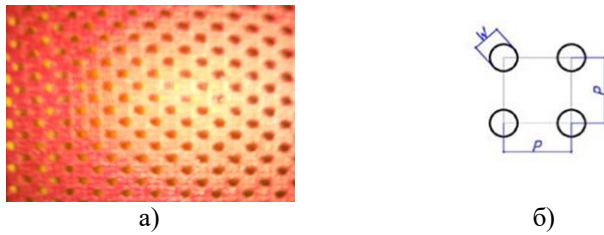


Рисунок 2 – Загальний вигляд фрагмента тканини сітки піноутворення:
а) вигляд перфорації; б) розміри перфорації ($p=3,3$ мм, $w=2,0$ мм), де p – міжосьова відстань між отворами перфорації, w – діаметр отвору

Суть методики експериментальних досліджень полягала у визначенні кратності піни та продуктивності ГПВК 500ВТ за піною, витрати робочого розчину піноутворювача на одержання об'єму піни, необхідної для заповнення мірної ємкості об'ємом $9,3 \text{ м}^3$ та кількості витраченого робочого розчину на одержання одного кубічного метра піни за різних витрат робочого розчину піноутворювача: 109 л/хв, 118 л/хв, 126 л/хв та 134 л/хв, що відповідали значенням тиску робочого розчину піноутворювача перед розпилювачем 6 бар, 7 бар, 8 бар та 9 бар

відповідно, за різних співвідношень продуктивності розпилювальної форсунки до продуктивності вентилятора (продуктивність вентилятора незмінна і складає не менше ніж $6420 \text{ м}^3/\text{год}$) та за різних співвідношень площі поперечного перерізу отвору корпусу вентилятора до сумарної площі перфорованих отворів у сітці піноутворення, а саме: 1:2 ($K_c = 2$), 1:3 ($K_c = 3$) та 1:4 ($K_c = 4$) відповідно.

Робочий момент проведення експериментальних досліджень функціональної моделі ГПВК 500ВТ наведено на рисунку 3.



Рисунок 3 – Робочий момент проведення експериментальних досліджень функціональної моделі ГПВК 500В

Для проведення експериментальних досліджень ГПВК ежекційного типу було розроблено та виготовлено експериментальний зразок функціональної моделі ГПВК з тканинною сіткою піноутворення (далі – функціональна модель ГПВК 600ЕТ, де 600 – внутрішній діаметр корпусу ГПВК, мм, Е –

ежекційний тип; Т – виконання сітки піноутворення з тканини).

Функціональна модель ГПВК 600ЕТ складається з таких основних вузлів: корпус ГПВК, блок розпилювачів, сітка піноутворення.

Загальний вид функціональної моделі ГПВК 600ЕТ наведено на рисунку 4.

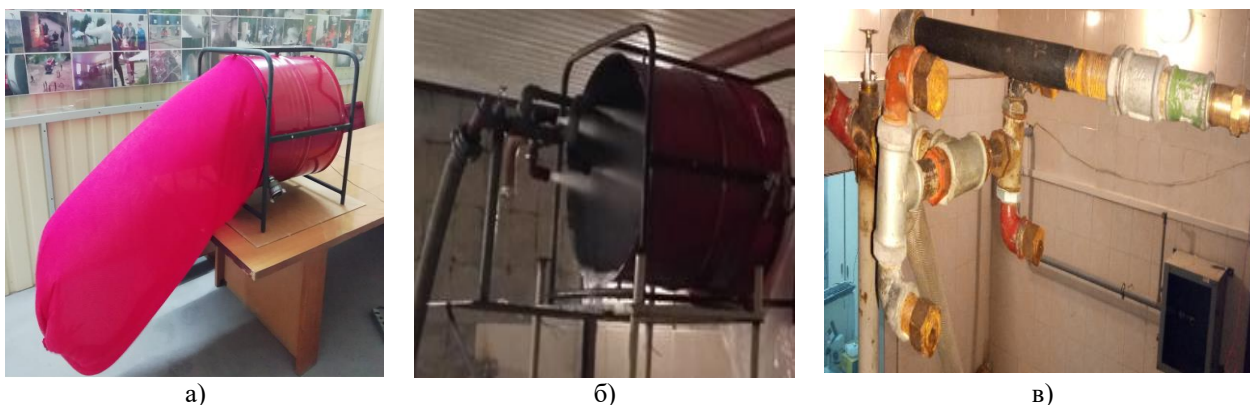


Рисунок 4 – Загальний вид функціональної моделі ГПКВ 600ЕТ:
а) вид спереду; б) вид ззаду; в) вид спереду (без сітки піноутворення) на блок розпилювачів

Технічні характеристики функціональної моделі ГПКВ 500ЕТ наведено нижче.

1. У конструкції функціональної моделі ГПКВ 500ЕТ застосовано блок розпилювачів, що складається з одного (центрального) тангенціального розпилювача рідини фірми «Lechler» марки 423.128 з факелом розпилювання «повний конус», з кутом розпилювання 120° та чотирьох експериментальних розпилювачів з факелом розпилювання «повний конус», з кутом розпилювання 12° .

2. Як сітку піноутворення використано перфоровану синтетичну тканину аналогічно застосованій у ГПКВ 500ВТ.

Суть методики експериментальних досліджень полягала у визначенні кратності піни та продуктивності ГПКВ 500ЕТ за піною, витрати робочого розчину піноутворювача на

одержання об'єму піни, необхідної для заповнення мірної ємкості об'ємом $9,3 \text{ м}^3$ та кількості витраченого робочого розчину на створення одного кубічного метра піни за різних витрат робочого розчину піноутворювача: 114 л/хв, 124 л/хв, 140 л/хв та 148 л/хв, що відповідали значенням тиску робочого розчину піноутворювача перед розпилювачем 6 бар, 7 бар, 8 бар та 9 бар відповідно, за різних співвідношень площі поперечного перерізу отвору корпусу генератора до сумарної площі перфорованих отворів у сітці піноутворення, а саме: 1:2 ($K_c = 2$), 1:3 ($K_c = 3$) та 1:4 ($K_c = 4$) відповідно.

Робочий момент проведення експериментальних досліджень експериментального зразка ГПКВ 600ЕТ наведено на рисунку 5.



Рисунок 5 – Робочий момент проведення експериментальних досліджень експериментального зразка ГПКВ 600ЕТ

Під час експериментальних досліджень вказаних ГПКВ використовували 6 % водний розчин піноутворювача загального призначення для гасіння пожеж «Альпен» виробництва ТОВ «Альхім» (Україна) за ТУ У 24.6-32740136-001:2006 зі змінами №1-4.

Під час проведення експериментальних досліджень застосовували метод прямого вимірювання тривалості заповнення піною мірної ємкості (за результатами відеозйомки), після чого шляхом математичних розрахунків визначали:

$$V_{pn} = \frac{V_p \times 1000}{9300}, \quad (4)$$

1. Кратність піни (K) за формулою:

$$K = \frac{9300}{Q_p \times t} \quad (1)$$

де 9300 – об'єм мірної ємкості, л;
 Q_p – витрата робочого розчину піноутворювача, л/хв;
 t – тривалість заповнення піною мірної ємкості, хв.

2. Продуктивність ГПВК за піною (Q_n , м³/год) за формулою:

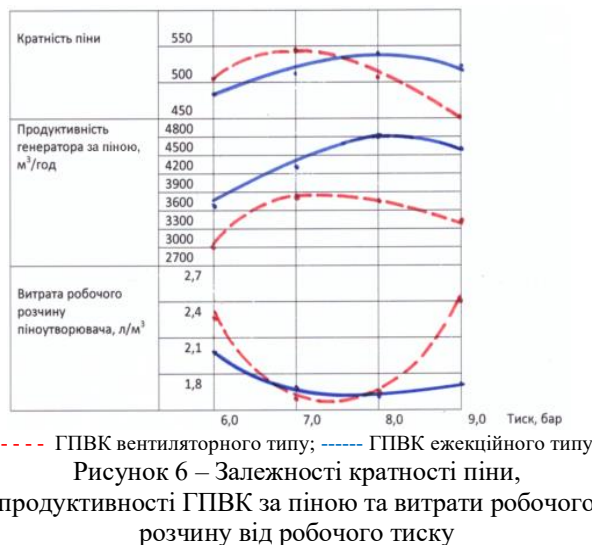
$$Q_n = \frac{Q_p \times K \times 60}{1000}, \quad (2)$$

3. Витрату робочого розчину піноутворювача на одержання об'єму піни, необхідної для заповнення мірної ємкості (V_p , л) за формулою:

$$V_p = \frac{Q_p}{t}, \quad (3)$$

4. Витрату робочого розчину піноутворювача на створення одного кубічного метра піни (V_{pn} , л/м³) за формулою:

Результати розрахунків наведено на рисунку 6.



Загальний вигляд функціональних моделей ГПВК, які було розроблено і досліджено, наведено на рисунку 6, а їх технічні характеристики – у таблиці 1.



а)



б)

Рисунок 6 – Загальний вигляд зразків функціональних моделей ГПВК:
 а) вентиляторного типу; б) ежекційного типу

Таблиця 1 – Технічні характеристики зразків функціональних моделей генераторів піни високої кратності

№	Найменування показника	Тип ГПВК	
		Вентиляторний	Ежекційний
1	Потужність електродвигуна вентилятора, Вт, не більше	420	—
2	Номінальна напруга електроживлення, В	220	—
3	Витрата розчину піноутворювача, л/хв, не більше	120*	140**
4	Кратність піни, не менше	545	530
5	Продуктивність за піною, м ³ /год, не менше	3800***	4800***
6	Довжина, мм, не більше	640	1220
7	Висота, мм, не більше	680	680
8	Ширина, мм, не більше	660	660
9	Маса, кг, не більше	26	33

Примітка * – за тиску 7 бар; ** – за тиску 8 бар; у разі використання піноутворювача «Альпен»

Приклад встановлення зразка функціональної моделі ГПВК вентиляторного типу на технологічному люкові кабельного

тунелю з метою його використання у складі стаціонарної системи пожежогасіння піною високої кратності наведено на рисунку 7.



Рисунок 7– Приклади встановлення функціональних моделей генераторів піни високої кратності

Приклад встановлення зразка функціональної моделі ГПВК ежекційного типу для використання у складі стаціонарної системи пінного пожежогасіння піною високої кратності наведено на рисунку 8.



Рисунок 8- Приклади стаціонарного встановлення функціональної моделі генератору піни високої кратності

Таким чином, проведені аналітичні дослідження дали змогу обґрунтувати конструкційну побудову функціональних моделей стволів-генераторів піни високої кратності вентиляторного та ежекційного типів, а також виготовити їх з використанням компонентів заводського виробництва. Проведені експериментальні дослідження робочих параметрів створених функціональних

моделей дозволили встановити залежність величин кратності піни, продуктивності за піною та кількості витраченого робочого розчину від співвідношень геометричних розмірів складників стволів-генераторів піни і витрати (тиску) робочого розчину піноутворювача та витрати повітряного потоку. Проведення цих досліджень дало змогу визначити діапазони робочих параметрів, за яких функціональні моделі стволів-генераторів піни високої кратності забезпечують найкраще генерування піни у разі використання піноутворювача загального призначення для гасіння пожеж «Альпен».

Надалі передбачається оцінити робочі параметри створених функціональних моделей стволів-генераторів піни високої кратності у разі використання інших піноутворювачів, зокрема, вогнегасних речовин, розроблених спеціально для гасіння пожеж піною високої кратності, які відповідають вимогам ДСТУ EN 1568-2 [3]. Очікується, що це дасть змогу обґрунтувати вихідні дані для розроблення нормативних документів і виготовлення промислових дослідних зразків стволів-генераторів піни високої кратності вентиляторного та ежекційного типів, а також випробувань цих зразків на відповідність вимогам ДСТУ EN 13565-1 [1]. Налагодження серійного виробництва цих стволів дасть змогу комплектувати ними пожежні автомобілі, а також використовувати їх у складі стаціонарних систем пожежогасіння піною високої кратності.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. EN 13565-1:2003+A1:2007 Fixed firefighting systems – Foam systems – Part 1: Requirements and test methods for components.
2. ДСТУ EN 13565-1:2015 Стационарні системи пожежогасіння. Системи пінного пожежогасіння. Частина 1. Вимоги до компонентів та методи їх випробування (EN 13565-1:2003 +A1:2007, IDT).
3. Чинний від 2016-04-01. – К.: ДП «УкрНДНЦ», 2016. – 25 с.
ДСТУ EN 1568-2:2014 Вогнегасні речовини. Піноутворювачі. Частина 2. Вимоги до піноутворювачів, призначених для гасіння водонерозчинних горючих рідин піною високої кратності, що подається на поверхню (EN 1568-2:2008, EN 1568-2:2008/AC:2010, IDT).

REFERENCES

1. EN 13565-1:2003+A1:2007 Fixed firefighting systems – Foam systems – Part 1: Requirements and test methods for components.
1. DSTU EN 13565-1:2015 Stacionarni sistemi pozhezhogasinnja. Sistemi pinnogo pozhezhogasinnja. Chastina 1. Vimogi do komponentiv ta metodi ih viprobuvannja (EN 13565-1:2003 +A1:2007, IDT). Chinnij vid 2016-04-01. – K.: DP «UkrNDNC», 2016. – 25 s.
2. DSTU EN 1568-2:2014 Vognegasni rehovini. Pinoutvorjuvachi. Chastina 2. Vimogi do pinoutvorjuvachiv, priznachenih dlja gasinnja vodonerozhchinnih gorjuchih ridin pinoju visokoї kratnosti, shho podact'sja na poverhnju (EN 1568-2:2008, EN 1568-2:2008/AC:2010, IDT).

EFFECT OF OPERATING PARAMETERS UPON PERFORMANCE OF FUNCTIONAL SPECIMENS OF HIGH EXPANSION FOAM GENERATORS

O. Tymoshenko, V. Chuian, A. Hrachov

The Ukrainian Civil Protection Research Institute, Ukraine

KEYWORDS

high expansion foam generator, foam expansion, concentration of foam solution, nozzle, sprayer of foam solution of foam concentrate

ANNOTATION

The issues related to application of high expansion foam as flooding fire extinguishing agent as well as necessity of the development of high expansion foam generators in Ukraine are considered. Patent search concerning appropriate devices for generation of high expansion foam from foam solutions was conducted and it showed specific features of the components when generating high expansion foam. The results of the research of operating parameters of prototypes of high expansion foam generators of fan and ejection types are presented. For high expansion foam generators of fan type dependence of foam expansion, foam solution flow rate and amount of spent foam solution on the performance of the spray nozzle at different pressures and ratio of fan performance to the spray nozzle performance was established; the ratio of the cross-sectional area of the fan to the total area of the perforated holes in the foaming grid was studied, too. For high-expansion foam generators of the ejection type dependence of foam expansion, foam solution flow rate and amount of spent foam solution on the capacity of the spray nozzle unit at different pressures, foam solution flow rate to the total area of the holes in the foaming grid, and ratio of the cross-sectional area of the generator to the total area of the perforated holes of the foaming grid were studied. Functional models of the mentioned types of generators (both ejection (aspiration) one and generator equipped with fan (air blowing unit)) were developed, created and tested for the purpose of derivation of appropriate relations between their conditions of use and performance. At the same time, high expansion foam generators of fan type by their weight and size parameters are intended for use in the divisions of the Operative and Rescue Service of Civil Protection of the State Emergency Service of Ukraine as portable firefighting units. Such firefighting units are intended to be installed first of all on any state-of-the-art municipal fire engines equipped with autonomous AC generators. High expansion foam generators of ejection type are intended for use as firefighting units in foam firefighting systems of various facilities with fire hazard.

ВЛИЯНИЕ РАБОЧИХ ПАРАМЕТРОВ НА ТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ ФУНКЦИОНАЛЬНЫХ ОБРАЗЦОВ СТВОЛОВ-ГЕНЕРАТОРОВ ПЕНЫ ВЫСОКОЙ КРАТНОСТИ

А.М. Тимошенко, В.Ф. Чуян, А.А. Грачов

Украинский научно-исследовательский институт гражданской защиты, Украина

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

генератор пены высокой кратности, кратность пены, концентрация рабочего раствора пенообразователя, пенообразователь, распылитель рабочего раствора пенообразователя

АННОТАЦИЯ

Проанализировано современное состояние применения пены высокой кратности в качестве средства пожаротушения объемным способом и обоснована необходимость разработки в Украине пожарных стволов-генераторов пены высокой кратности. Проведен патентный поиск устройств для генерации пены высокой кратности из рабочих растворов пенообразователя, где указано на особенности составляющих во время образования пены высокой кратности. Приведены результаты исследований рабочих параметров разработанных экспериментальных образцов генераторов пены высокой кратности вентиляторного и инжекционного типа. Установлена зависимость величины кратности пены, производительности по пене и количеству израсходованного рабочего раствора от соотношений геометрических размеров составляющих элементов генераторов к расходу (давлению) рабочего раствора пенообразователя и расходу воздушного потока. Разработано два функциональных макета генераторов пены высокой кратности эжекционного и вентиляторного типа.

УДК 614.841

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ МЕТОДИ ОЦІНЮВАННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ ПЕРЕНЕСНИХ ЗАСОБІВ ДИМО- ТА ТЕПЛОВИДАЛЕННЯ

В.В. Присяжнюк, С.В. Семичаєвський*, М.Л. Якіменко, М.В. Осадчук, О.В. Куртов, О.В. Мілютін
Український науково-дослідний інститут цивільного захисту, Україна

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 21.10.2019
Пройшла рецензування: 05.12.2019

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

газоповітряне середовище, експериментальні дослідження, переносні засоби димо- та тепловидалення, функціональний макет

АНОТАЦІЯ

Наведено результати експериментальних досліджень з визначення коефіцієнту ефективного зменшення задимленості і коефіцієнту ефективного зниження температури під час реалізації трьох варіантів нормалізації газоповітряного середовища у випробувальному боксі, а саме під час створення задимленого та високотемпературного середовища та подальшого самостійного зменшення задимленості і зниження температури, під час димо та тепловидалення шляхом нагнітання повітря та шляхом одночасного подавання повітря та розпиленого струменя води до випробувального боксу за допомогою переносного засобу димо- та тепловидалення

Постановка проблеми. Значна кількість випадків гасіння пожеж пов'язана із небезпечним впливом на особовий склад небезпечних чинників пожежі. Зокрема, дія високих температур та диму значно ускладнюють проведення рятувальних робіт та пожежогасіння. Вагомим тактичним способом зниження такого впливу на особовий склад пожежно-рятувальних підрозділів є керування теплдимовими потоками пожежі за допомогою переносних засобів димо- та тепловидалення, які функціонально призначені для локального підвищення повітряного тиску шляхом нагнітання повітря до зони роботи особового складу або видалення продуктів горіння з приміщень в умовах пожежі для нормалізації температурного і повітряного середовища [1, 2].

На теперішній час в пожежно-рятувальних підрозділах ДСНС України майже відсутні переносні засоби димо- та тепловидалення (далі – ПЗДТ). Враховуючи те, що за період з 2014 по 2018 роки, під час гасіння пожеж та ліквідації наслідків надзвичайних ситуацій в Україні, спостерігалася тенденція збільшення кількості використаних ланок ГДЗС на пожежах з 5802 до 7804 та збільшення часу їх роботи з 1704 год до 2544 год [3], стає очевидним необхідність широкого використання пожежно-рятувальними підрозділами ДСНС України ПЗДТ.

Створення вітчизняних зразків ПЗДТ неможливе без обґрунтування та розроблення технічних вимог до конструкції, показників якості й методів випробувань таких засобів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. В звіті [4] наведено результати досліджень з обґрунтування технічних вимог до переносних

технічних засобів пожежогасіння з метою розроблення пропозицій з підвищення ефективності гасіння пожеж з їх застосуванням пожежно-рятувальними підрозділами ДСНС України. В той же час, ці дослідження не містять даних щодо кількісного оцінювання ефективності застосування ПЗДТ.

Постановка завдання. В Українському науково-дослідному інституті цивільного захисту (далі – УкрНДЦЗ) в рамках виконання науково-дослідної роботи «Засоби димо- та тепловидалення» на підставі проведених аналітичних досліджень створено функціональний макет ПЗДТ нагнітального типу (рисунок 1).



Рисунок 1 – Загальний вигляд функціонального макету ПЗДТ

Згідно з розробленими методиками, фахівцями УкрНДЦЗ проведено експериментальні дослідження з визначення коефіцієнту ефективного зменшення задимленості та коефіцієнту ефективного зниження температури у приміщенні пожежі під час застосування такого засобу.

Результати експериментальних досліджень отримані для наявних випробувальних приміщень, експериментального обладнання та певних погодних умов, в яких вони були проведені, але вони формують уявлення про можливості розробленої техніки, а представлені методики можуть бути використані для оцінки часу димо- та тепловиділення з приміщень, в яких не можливо або не передбачено застосування стаціонарних систем димовидалення.

Виклад основного матеріалу. Під час експериментальних досліджень з визначення коефіцієнту ефективного зменшення задимленості було реалізовано три варіанти нормалізації газоповітряного середовища у приміщенні пожежі (в якості цього приміщення використовувався випробувальний бокс об'ємом 40 м³).

Перший варіант передбачав створення задимленого середовища у випробувальному боксі та подальше його самостійне (вільне) розсіювання до нормалізації газоповітряного середовища. Другий варіант передбачав створення задимленого середовища у випробувальному боксі та подальше димовидалення шляхом нагнітання повітря без подавання розпиленого струменя води до нього, третій – шляхом одночасного подавання повітря та розпиленого струменя води.

Суть методу полягала у наступному. У випробувальному боксі встановлювався технічний комплекс для визначення оптичної щільності повітря, який складався з лазерного випромінювача та приймача випромінювання лазера (рисунок 2). За допомогою інформаційно-виміральної системи «Термоконт» виконувалась реєстрація даних щодо зміни напруги на приймачі випромінювання лазера, а також виконувалась автоматична реєстрація часу. На початковому етапі експерименту, при відсутності задимлення, показання виміральної системи відповідали максимальному значенню напруги на приймачі випромінювання лазера.

В подальшому приводилася у дію димова шашка для створення задимлення чорного кольору. У випробувальному боксі закривалися всі наявні отвори та включалися вентилятори для забезпечення рівномірного перемішування газоповітряного середовища.

У першому варіанті при досягненні мінімального значення електричної напруги на приймачі випромінювання лазера, що відповідало

максимальному задимленню у випробувальному боксі в результаті закінчення дії димової шашки, відчинялися всі наявні отвори у випробувальному боксі та вимикалися вентилятори. Вільне розсіювання диму тривало протягом проміжку часу $t_{вільнД}$ (проміжок часу від моменту закінчення дії димової шашки та відкриття всіх наявних отворів у випробувальному боксі до моменту самостійної нормалізації газоповітряного середовища у випробувальному боксі, що відповідало настанню найбільшого (максимального) значення показань інформаційно-виміральної системи).

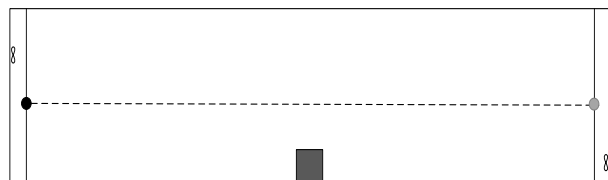
У другому та третьому варіантах при досягненні мінімального значення електричної напруги на приймачі випромінювання лазера також відчинялися всі наявні отвори у випробувальному боксі та вимикалися вентилятори. Приводився у дію ПЗДТ, робота якого тривала протягом проміжку часу $t_{технД}$ (проміжок часу від моменту включення ПЗДТ після закінчення дії димової шашки та відкриття всіх наявних отворів у випробувальному боксі до моменту нормалізації газоповітряного середовища у випробувальному боксі, що відповідало настанню найбільшого (максимального) значення показань інформаційно-виміральної системи).

Під час реалізації вищезазначених варіантів для контрольної точки вимірювання отримували залежності величини електричної напруги на приймачі випромінювання лазера, що є пропорційною рівню задимленості у випробувальному боксі, від часу димовидалення (в якості контрольної точки вимірювання електричної напруги було обрано рівень розміщення лазерного випромінювача та приймача випромінювання лазера на висоті 1,7 м від рівня підлоги випробувального боксу, що відповідає середньостатистичному зросту людини).

Відповідно за формулою (1) розраховувався коефіцієнт ефективного зменшення задимленості у випробувальному боксі для другого та третього варіантів:

$$K_{де} = \frac{t_{вільнД}}{t_{технД}} \quad (1)$$

Робочі моменти проведення експериментальних досліджень наведено на рисунку 3.



■ – вхід до випробувального боксу; ● – лазерний випромінювач; ● – приймач випромінювання лазера; 8 – вентилятори для перемішування газоповітряного середовища.

Рисунок 2 – Схема розміщення технічного комплексу для визначення оптичної щільності повітря у випробувальному боксі



Рисунок 3 – Робочі моменти проведення експериментальних досліджень з визначення коефіцієнту ефективного зменшення задимленості

Результати експериментальних досліджень з визначення часу $t_{\text{вільнД}}$ (варіант створення задимленого середовища у випробувальному боксі та подальшого його вільного розсіювання) наведено на рисунку 4.

Проміжок часу вільного розсіювання диму у випробувальному боксі $t_{\text{вільнД}}$ згідно з рисунком 4 складає 4590 с.

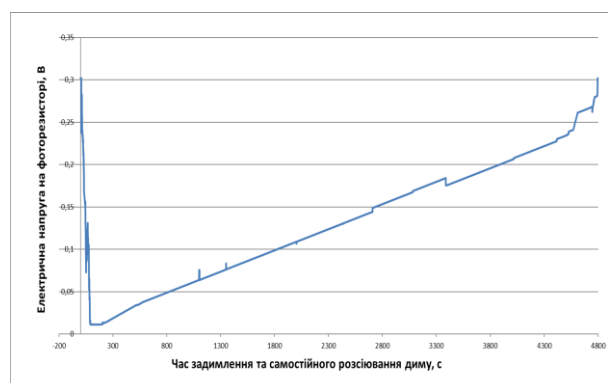


Рисунок 4 – Результати експериментальних досліджень з визначення часу $t_{\text{вільнД}}$ (варіант створення задимленого середовища у випробувальному боксі та подальшого його вільного розсіювання)

Результати експериментальних досліджень з визначення коефіцієнту ефективного

зменшення задимленості під час нагнітання повітря до випробувального боксу за допомогою ПЗДТ наведено на рисунку 5.

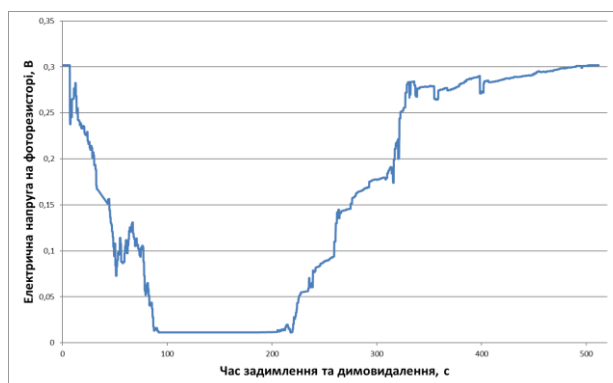


Рисунок 5 – Результати експериментальних досліджень з визначення коефіцієнту ефективного зменшення задимленості під час нагнітання повітря до випробувального боксу за допомогою ПЗДТ

Коефіцієнт ефективного зменшення задимленості під час нагнітання повітря до випробувального боксу за допомогою ПЗДТ за формулою (1) та згідно даних рисунку 5 складає 13,1 ($t_{\text{технД}} = 350$ с).

Результати експериментальних досліджень з визначення коефіцієнту ефективного зменшення задимленості під час нагнітання повітря з одночасним подаванням розпиленого струменю води до випробувального боксу за допомогою ПЗДТ наведено на рисунку 6.



Рисунок 6 – Результати експериментальних досліджень з визначення коефіцієнту ефективного зменшення задимленості під час нагнітання повітря з одночасним подаванням розпиленого струменю води до випробувального боксу за допомогою ПЗДТ

Коефіцієнт ефективного зменшення задимленості під час нагнітання повітря з одночасним подаванням розпиленого струменю води до випробувального боксу за допомогою ПЗДТ складає 27,5 ($t_{\text{технД}} = 167$ с).

Під час експериментальних досліджень з визначення коефіцієнту ефективного зниження температури було реалізовано також три

варіанти нормалізації температурного середовища у приміщенні пожежі (в якості

Перший варіант передбачав створення високотемпературного середовища у випробувальному боксі та вільне зниження температури по мірі вигорання модельних вогнищ пожежі протягом певного проміжку часу. Другий варіант передбачав створення високотемпературного середовища у випробувальному боксі та подальше зниження температури шляхом нагнітання повітря до нього, третій – шляхом одночасного подавання повітря та розпиленого струменя води. Процедуру цих експериментів наведено нижче.

Для реєстрації температури газоповітряного середовища використовувалися взагалі п'ятнадцять термопар типу ТХА з електродами діаметром 0,7 мм, які розташовувалися у випробувальному боксі. Термопари під'єднувалися до інформаційно-вимірювальної системи, що встановлювалася за межами випробувального боксу перед його входом. Схема розміщення термопар наведена на рисунку 7.

Термопари з номерами T_1 - T_5 розташовувалися на висоті 0,5 м від рівня площини підлоги. Термопари з номерами T_9 - T_{13} розташовувалися на відстані 0,5 м від рівня площини покриття випробувального боксу. Крім того, п'ять термопар з номерами T_6 - T_8 , T_{14} - T_{15} розташовувалися у площині на висоті $h_1=1,70$ м від рівня площини підлоги випробувального боксу. В якості контрольної точки вимірювання температури приймалася термопара за номером T_7 , яка розташовувалась на висоті $h_1=1,70$ м, що відповідає зросту середньостатистичної людини, як показано на рисунку 7.

У випробувальному боксі розміщувалися два модельні вогнища пожежі, які представляють собою дека квадратної форми розмірами 1,90 м x 1,90 м x 0,15 м кожне. У кожне деко заливався бензин марки А-92.

За допомогою факела підпалювалися модельні вогнища. У випробувальному боксі зачінялися всі наявні отвори.

Одночасно розпочиналася реєстрація температури газоповітряного середовища у випробувальному боксі за допомогою п'ятнадцяти термопар, під'єднаних до інформаційно-вимірювального комплексу.

При досягненні 200 с вільного горіння (повного вигорання модельних вогнищ пожежі) відчинялися прорізи у верхній частині випробувального боксу та його дверний отвір.

цього приміщення використовувався випробувальний бокс об'ємом 285 м³).

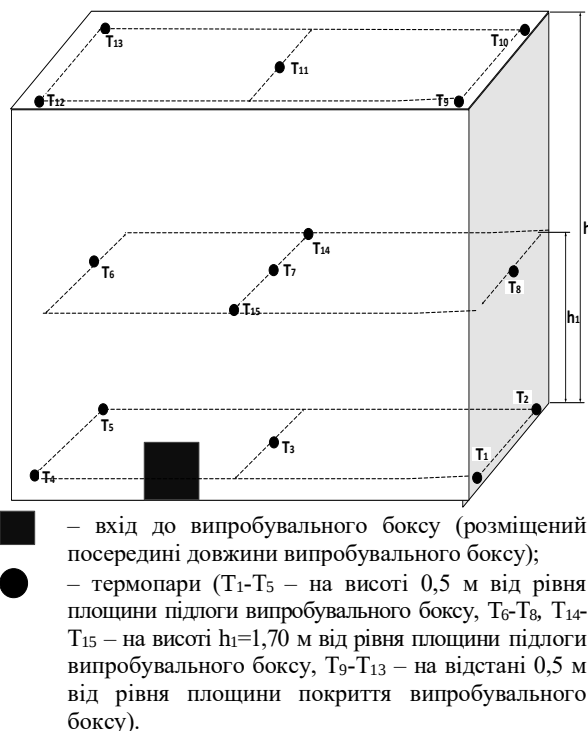


Рисунок 7 – Схема розміщення термопар у випробувальному боксі

У першому варіанті реєструвався проміжок часу $t_{\text{вільнТ}}$ (проміжок часу, що відповідав вільному (самостійному) зниженню температури газоповітряного середовища від моменту досягнення максимальної температури газоповітряного середовища у контрольній точці до кінцевої температури $T_{\text{кінц}} = 40^\circ\text{C}$).

Під час реалізації другого вищезгаданого варіанта, при досягненні 200 с вільного горіння модельних вогнищ пожежі відчинялися прорізи у верхній частині випробувального боксу та його дверний отвір. Вмикався ПЗДТ, за допомогою якого через відчинений дверний отвір здійснювалося нагнітання свіжого повітря до випробувального боксу.

Одночасно із початком роботи ПЗДТ розпочиналася автоматична реєстрація часу його роботи за допомогою інформаційно-вимірювального комплексу.

У другому та третьому варіантах реєструвався проміжок часу $t_{\text{технТ}}$ (проміжок часу, що відповідав зниженню температури газоповітряного середовища при роботі ПЗДТ від моменту досягнення максимальної температури газоповітряного середовища у контрольній точці до кінцевої температури $T_{\text{кінц}} = 40^\circ\text{C}$).

В процесі досліджень реєструвалося, наскільки і упродовж якого часу знижується температура у кожній точці встановлення термопар у випробувальному боксі. За результатами експериментальних досліджень отримувалася залежність температури у випробувальному боксі від часу.

Для контрольної точки за формулою (2) для другого та третього варіантів розраховувався коефіцієнт ефективного зниження температури у випробувальному боксі:

$$K_{Te} = \frac{t_{вілнт}}{t_{технт}} \quad (2)$$

Робочі моменти проведення експериментальних досліджень наведено на рисунку 8.



Рисунку 8 – Робочі моменти проведення експериментальних досліджень з визначення коефіцієнту ефективного зниження температури

Результати експериментальних досліджень з визначення часу самостійного зниження температури наведено на рисунку 9.



Рисунку 9 – Результати експериментальних досліджень з визначення часу самостійного зниження температури

Проміжок часу самостійного зниження температури у випробувальному боксі згідно з рисунком 9 для контрольної точки (термопара Т7) складає 2950 с.

Результати експериментальних досліджень з визначення коефіцієнту ефективного зниження

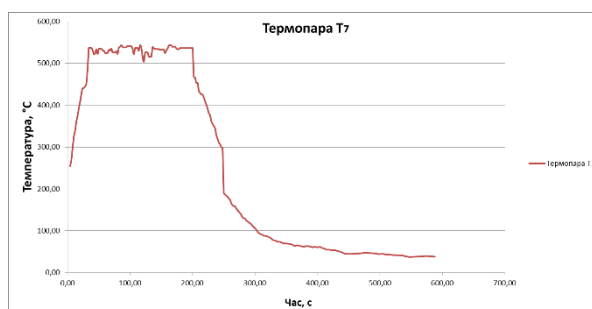
температури у контрольній точці під час нагнітання повітря до випробувального боксу за допомогою ПЗДТ наведено на рисунку 10.



Рисунку 10 – Результати експериментальних досліджень з визначення коефіцієнту ефективного зниження температури у контрольній точці під час нагнітання повітря до випробувального боксу за допомогою ПЗДТ

Згідно з даними рисунку 10, використовуючи формулу (2), коефіцієнт ефективного зниження температури у випробувальному боксі при роботі ПЗДТ під час нагнітання повітря складає 5,3 (час його роботи $t_{технт} = 554$ с).

Результати експериментальних досліджень з визначення коефіцієнту ефективного зниження температури у контрольній точці під час нагнітання повітря з одночасним подаванням розпиленого струменю води до випробувального боксу наведено на рисунку 11.



Рисунку 11 – Результати експериментальних досліджень з визначення коефіцієнту ефективного зниження температури у контрольній точці під час нагнітання повітря з одночасним подаванням розпиленого струменю води до випробувального боксу

Згідно з даними рисунку 11, використовуючи формулу 2, коефіцієнт ефективного зниження температури у випробувальному боксі при роботі ПЗДТ під час нагнітання повітря з одночасним подаванням розпиленого струменю води складає 9,3 ($t_{технт} = 318$ с).

Висновки. Застосування ПЗДТ є ефективним засобом димо- та тепловидалення під час пожеж в приміщеннях, в яких наявні

отвори для самостійного/примусового димо- та тепловидалення.

Виявлено, що робота функціонального макету ПЗДТ під час нагнітання повітря з одночасним подаванням розпиленого струменю

води є більш ефективним у порівнянні з подаванням тільки повітря, оскільки при цьому час роботи засобу зменшується приблизно в два рази.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Назначение и классификация дымососов [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://taketop.ru/articles/bg/pogar/kldum>.
2. Димовидалення на пожежі: навчальний посібник / В. І. Луш, О. В. Лазаренко. – Львів: ЛДУ БЖД, 2017. – 100 с.
3. Аналіз масиву карток обліку пожеж (POG_STAT), що надійшли з територіальних органів управління

4. ДСНС України за 2014–2018 роки. [Електронний ресурс] – Режим доступу: <http://www.undicz.mns.gov.ua>.
4. Звіт про НДР «Провести дослідження та розробити пропозиції щодо застосування переносних технічних засобів пожежогасіння для підвищення ефективності гасіння пожеж» – УкрНДІЦЗ № Держреєстрації 0117U008840. Київ. – С.150.

REFERENCES

1. Naznachenie i klassifikatsiya dyimososov [Elektronniy resurs]. – URL: <http://taketop.ru/articles/bg/pogar/kldum>.
2. Dymovydalennia na pozhezh: navchalnyi posibnyk / V. I. Lusch, O. V. Lazarenko. – Lviv: LDU BZhD, 2017. – 100 s.
3. Analiz masyvu kartok obliku pozhezh (POG_STAT), scho nadiishly z terytorialnykh orhaniv upravlinnia DSNS Ukrainy

4. за 2014-2018 roky. [Elektronnyi resurs] – Rezhym dostupu: <http://www.undicz.mns.gov.ua>.
4. Zvit pro NDR «Provesty doslidzhennia ta rozrobyty propozytsii schodo zastosuvannia perenosnykh tekhnichnykh zasobiv pozhezhohasinnia dlia pidvyschennia efektyvnosti hasinnia pozhezh» - UkrNDITsZ # Derzhreiestratsii 0117U008840. Kyiv. – S.150.

EXPERIMENTAL METHODS OF ASSESSING THE EFFICIENCY OF USE OF SMOKE AND HEAT REMOVAL

V. Prisyazhnuk, S. Semichaevskiy, M. Yakimenko, M. Osadchuk, O. Kurtov, O. Milutin

The Ukrainian Civil Protection Research Institute, Ukraine

KEYWORDS

gas-air environment, experimental studies, portable means of smoke and heat removal, functional layout

ANNOTATION

The results of experimental studies on determining the coefficient of effective smoke reduction and the coefficient of effective temperature reduction during the implementation of three options for normalization of the gas-air environment in the test box, namely during the creation of a smoky and high-temperature environment and subsequent self-reduction of smoke time of smoke and heat removal by injection of air and by simultaneous supply of air and sprayed jets of water to the test box using portable means of smoke and heat removal.

A large number of firefighting cases are associated with the hazardous effects on the personnel of hazardous fire factors. In particular, the effects of high temperatures and smoke greatly complicate rescue work and firefighting. An important tactical way to reduce such an impact on the personnel of the fire and rescue units is to control the flue streams of the fire by means of portable means of smoke and heat removal, which are functionally intended for local increase of air pressure by injection of air into the area of work of personnel or removal of combustion products from the fire conditions for normalization of temperature and air environment.

At present, there are almost no portable means of smoke and heat removal in the fire-fighting units of the State Emergency Service of Ukraine. Considering that in the period from 2014 to 2018 during the firefighting and elimination of the consequences of emergencies in Ukraine, there was a tendency to increase the number of used units of gas and fire protection service from fires from 5802 to 7804 and increase their operating time from 1704 h to 2544 h. the need for widespread use of fire and rescue units and portable means of smoke and heat removal. In order to assist in solving this problem, a functional layout of a portable smoke and heat extraction type was created at the Ukrainian Research Institute of Civil Protection within the framework of the research work "Smoke and Heat Removal Means".

According to the developed methodology, the experts of the institute conducted experimental studies to determine the effective smoke reduction coefficient and the effective temperature reduction coefficient in the fire room during the use of such means.

The results of the experimental studies are presented in the appropriate graphs

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ПЕРЕНОСНЫХ СРЕДСТВ ДЫМО- И ТЕПЛОУДАЛЕНИЯ

В.В. Присяжнюк, С.В. Семичаевский, М.Л. Якименко, М.В. Осадчук, О.В. Куртов, О.В. Милютин

Украинский научно-исследовательский институт гражданской защиты, Украина

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

газовоздушная среда, экспериментальные исследования, переносные средства дымо- и теплоудаления, функциональный макет

АННОТАЦИЯ

Приведены результаты экспериментальных исследований по определению коэффициента эффективного уменьшения задымленности и коэффициента эффективного снижения температуры при реализации трех вариантов нормализации газовой среды в испытательном боксе, а именно при создании задымленной и высокотемпературной среды и дальнейшего самостоятельного уменьшения задымленности и снижения температуры в течение определенного промежутка времени, при дымо- и теплоудалении путем нагнетания воздуха и путем одновременной подачи воздуха и распыленной струи воды в испытательный бокс с помощью переносного средства дымо- и теплоудаления

УДК 614.841.45:389:53.08

ОСОБЛИВОСТІ ОЦІНЮВАННЯ МЕТОДІВ ВИЗНАЧЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ВОГНЕСТІЙКОСТІ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

С.В. Новак¹, канд. техн. наук, ст. наук. співроб., М.С. Новак², О.І. Бедратюк^{1*}

¹Український науково-дослідний інститут цивільного захисту, Україна

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

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 22.10.2019

Пройшла рецензування: 04.12.2019

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

будівельна конструкція, валідація, верифікація, вогнезахисний матеріал, вогнестійкість, оцінювання методу

АНОТАЦІЯ

Наведено результати дослідження, спрямованого на подальше удосконалення і розвиток процедур оцінювання методів визначення характеристик вогнестійкості будівельних конструкцій. Визначено особливості оцінювання методів визначення характеристик вогнестійкості будівельних конструкцій. Запропоновано процедуру валідації експериментально-розрахункових методів, призначених для визначення товщини вогнезахисту будівельних конструкцій, за якої забезпечується їхня вогнестійкість у широкому діапазоні змінювання параметрів цих конструкцій, засновану на проведенні обчислювального експерименту. Встановлено придатність запропонованої процедури валідації шляхом її застосування для експериментально-розрахункового методу, призначеного для визначення товщини вогнезахисних матеріалів для несучих сталевих конструкцій (колон і балок). Визначено напрям подальших досліджень, які орієнтовані на виявлення впливу теплофізичних властивостей вогнезахисних матеріалів і напружено-деформованого стану зразків сталевих конструкцій під час випробування на точнісні показники методу, що дозволить визначити більш прийнятні процедури оцінювання методу і оброблення експериментальних даних із підвищеною точністю.

Вступ. Відповідно до положень будівельного єврокоду 1 [1] для оцінювання вогнестійкості будівельних конструкцій можуть застосовуватися експериментальні або розрахункові методи. Процеси розроблення та оцінювання цих методів містять у собі визначення їхньої точності й меж застосування, а також тестування. Зокрема, оцінювання розрахункового методу – це процес визначення ступеня, за якого метод розрахунку є точним відображенням реальності з точки зору цілей розрахунку і ступеня точності, за якого реалізація методу розрахунку точно відображає концептуальний опис методу розрахунку, виконаний його розробником, і отримане рішення [2, 3].

Ключовими процесами в оцінюванні методу є його верифікація і валідація. Верифікація і валідація методу – це процедури, які використовують для визначення ступеня відповідності методу реальним процесам з точки зору можливих цілей його застосування (валідація) і ступеня точності реалізації методу (верифікація). Верифікація – це процес визначення правильності реалізації методу. Валідація дозволяє переконатися, що результати відповідають даним, очікуваним в реальності.

Основні положення стосовно оцінювання експериментальних і розрахункових методів визначені в [2 – 4]. Однак, враховуючи специфіку визначення характеристик вогнестійкості будівельних конструкцій, такі положення не завжди придатні для оцінювання методів для цієї сфери. Зокрема, це стосується методів, призначених для визначення товщини вогнезахисту будівельних конструкцій, за якої забезпечується їхня вогнестійкість.

Зважаючи на зазначене і необхідність розроблення і впровадження методів з визначеними показниками точності й межею застосування, актуальним слід вважати дослідження, спрямовані на подальше удосконалення і розвиток процедур оцінювання методів визначення характеристик вогнестійкості будівельних конструкцій.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми.

Валідація експериментальних методів загалом може охоплювати різні процедури, зокрема – відбору та кондиціювання зразків для випробування, обробки отриманих даних. Прийоми, які використовують для валідації цих методів, можуть бути такими [4]:

– калібрування або оцінювання зміщення виміру та прецизійності засобу вимірювальної

техніки з використанням вихідних еталонів або стандартних зразків;

- систематичне оцінювання чинників, що впливають на результат;

- перевірка стійкості методу шляхом зміни регульованих параметрів, наприклад, температури;

- порівняння з результатами, отриманими за іншими валідованими методами;

- міжлабораторні порівняння;

- оцінка невизначеності результатів вимірювань на основі розуміння теоретичних принципів методу та практичного досвіду роботи за методом випробування.

Робочі характеристики валідованих експериментальних методів мають бути сумісними з визначеними вимогами. Ці характеристики можуть містити, наприклад, діапазон вимірювань, точність, невизначеність результатів вимірювання, межу виявлення, межу кількісного визначення, вибіркковість методу, лінійність, стійкість до зовнішніх впливів або перехресної чутливості до впливу матриці зразка чи об'єкта випробування [4].

Верифікація експериментальних методів – це підтвердження здатності отримувати достовірні результати, придатні для розв'язання конкретного завдання, по готовому валідованому методу. Під час верифікації необхідно пересвідчитися, що метод реалізується правильно шляхом доведення того, що досягається необхідна результативність [4]. При цьому часто оцінюють повторюваність (збіжність) і відтворюваність отриманих результатів [5, 6]. Стандартизованих окремих процедур щодо верифікації, а також і щодо валідації методів, призначених для експериментального визначення характеристик вогнестійкості будівельних конструкцій, ще не впроваджено.

Стосовно валідації й верифікації методів розрахунку у сфері пожежної безпеки, то вони достатньо детально описані в [2, 3, 7 – 11]. На рис. 1 у загальному схематичному вигляді представлені етапи розроблення комп'ютеризованих моделей (методів) у сфері пожежної безпеки й роль верифікації та валідації у цих процесах [3]. Під час розроблення розрахункових методів концептуальну модель створюють на основі сприйняття (аналізу) явищ реального світу (іноді фізичної системи) у вигляді докладного словесного опису даного процесу (ів), який надалі перетворюють на набір математичних взаємозв'язків (математичну модель або аналітичні формули). Однак на рисунку 1

математичну модель окремо не позначено. Стосовно оцінювання комп'ютеризованих моделей у [3] наведено, що верифікація розглядає взаємозв'язок між концептуальною моделлю і комп'ютеризованою, в той час як валідація розглядає взаємозв'язок між розрахунковою моделлю і реальністю. З цим можна не погодитись, бо верифікація розглядає взаємозв'язок між математичною і комп'ютеризованою моделями.

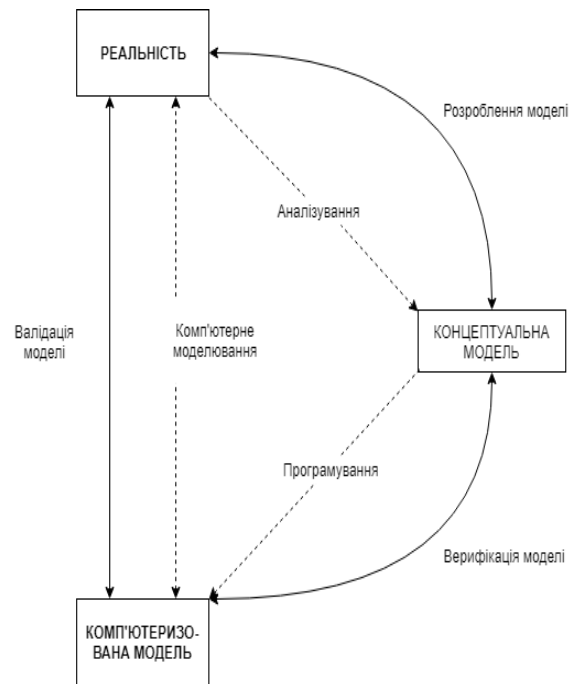


Рисунок 1 – Етапи розроблення і оцінювання комп'ютеризованих моделей

На рисунку 2 наведено етапи оцінювання моделей вогнестійкості будівельних конструкцій [12], які враховують роль верифікації та валідації у цьому процесі. Зазначену схему розроблено на основі основних положень до верифікації та валідації методів розрахунку для пожежно-технічного аналізу, визначених у міжнародному стандарті ISO 16730-1 [3]. Відповідно до неї процедура оцінювання моделей вогнестійкості починається з отримання за результатами випробувань, експериментів або досліджень необхідних знань для опису реальної поведінки будівельних конструкцій при пожежі. При цьому можливий сценарій як реальної пожежі, так і умовної [1]. На основі сприйняття цієї реальної поведінки розробляють концептуальну і математичну моделі. Загалом математична модель складається з моделей теплового і напружено-деформованого станів будівельних конструкцій під час пожежі. Математична модель може враховувати, наприклад,

радіаційно-конвективний теплообмін у газовому середовищі від джерела теплового впливу до поверхні будівельної конструкції, кондуктивний теплообмін у цій конструкції, радіаційно-конвективний теплообмін від цієї конструкції у навколишнє середовище з поверхні конструкції, що не обігрівається. Компоненти математичної моделі можуть відобразити основні фізичні процеси, які

безпосередньо впливають на точність оцінки вогнестійкості окремої будівельної конструкції (чи частини конструктивної системи, чи конструктивної системи у цілому), у тому числі просторовий характер розподілу температур та напружень і неоднорідність будівельної конструкції за структурою і фізичними властивостями її окремих елементів.

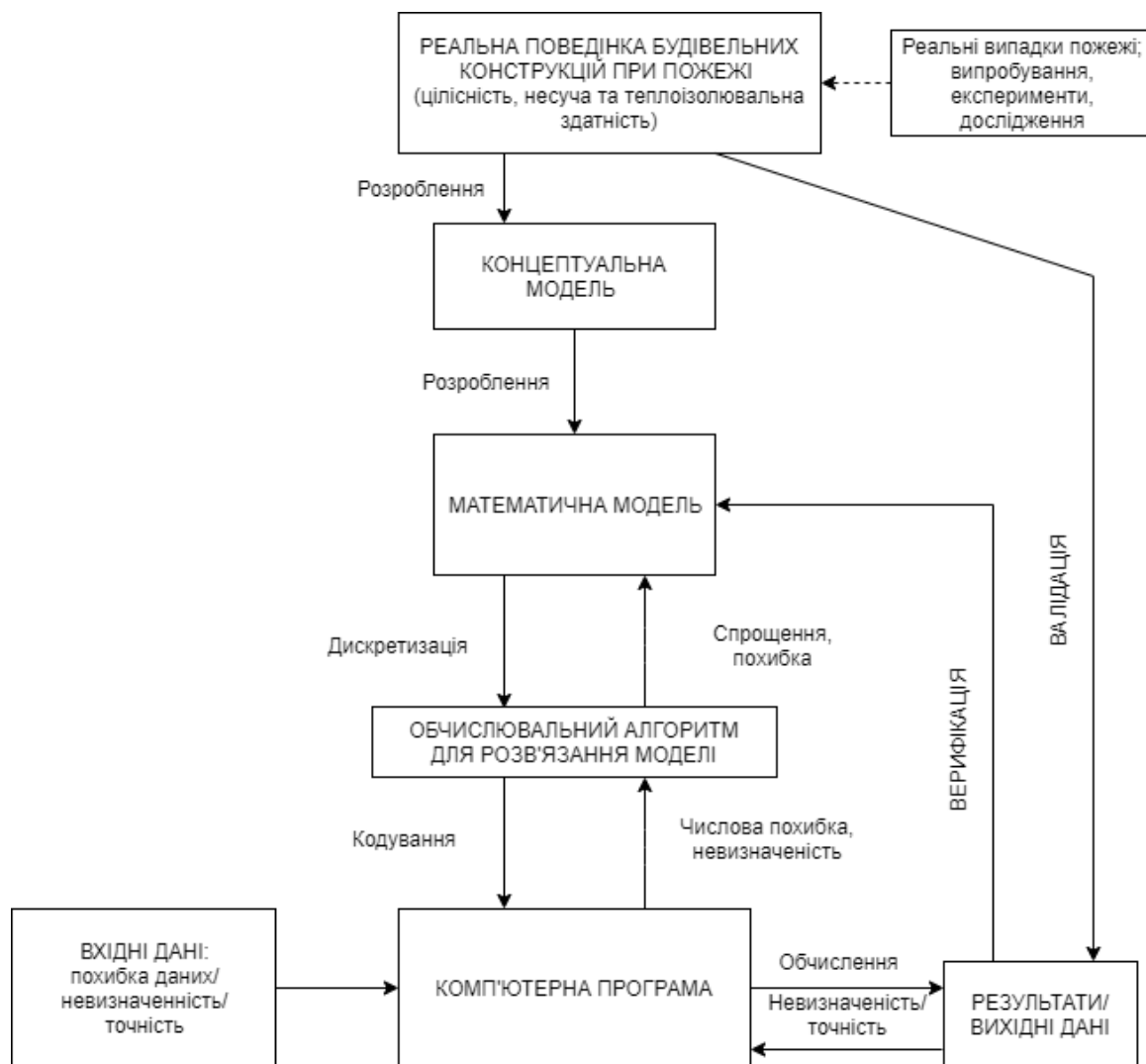


Рисунок 2 – Етапи розроблення й оцінювання моделей вогнестійкості будівельних конструкцій

У процесі валідації встановлюють діапазон застосування методу розрахунку вогнестійкості й визначають його точність (ступінь, за якої метод розрахунку відповідає реальності) в прийнятному діапазоні [2, 3]. Слід відзначити, що навіть для найпростіших завдань з оцінки пожеж не існує універсальних аналітичних рішень. Тобто для такого роду завдань немає точних рішень в аналітичному вигляді. Однак існує можливість виконати два типи перевірки. Перший тип являє собою спосіб, за якого окремі алгоритми звіряють з експериментальними

даними, отриманими за реальних умов. Другий тип складається з простих експериментів, наприклад, щодо теплопровідності та випромінювання, результати в яких асимптотичні. Наприклад, у простому випробуванні з одним приміщенням при відсутності загоряння температура повинна асимптотично приходити у рівновагу до єдиного значення. Модель повинна бути в змозі відтворити цю поведінку. У стандарті ISO 16730-1 [3] передбачено дві процедури валідації. Ці процедури називаються "сліпою" і

"відкритою" валідацією. Під час проведення процедури "сліпої" валідації сторона, яка проводить валідацію, має дані лише щодо початкових і граничних умов експерименту, необхідні для застосування методу розрахунку, що проходить валідацію. Ці дані можуть містити будь-який параметр (наприклад, швидкість виділення тепла), для якого прогнозується здатність моделі не перевіряється. Сторона, яка проводить валідацію, не має доступу до результатів експериментальних вимірювань вихідних даних методу розрахунку, що проходить валідацію. У "відкритій" процедурі сторона, яка проводить валідацію, має дані щодо початкових і граничних умов експерименту, а також результати вимірювання вихідних параметрів методу розрахунку, що проходить валідацію. У всіх випадках валідацій мають бути обрані показники, значення яких підлягають порівнянню. Якщо модель пройшла валідацію для загальної швидкості виділення тепла, це не означає, що вона пройшла валідацію для інших параметрів.

Процес верифікації полягає у перевірці правильності розв'язання математичної моделі (правильності програмного коду) і оцінці числових похибок, які виникають за рахунок округлення, усічення і дискретизації [2, 3]. Похибки округлення з'являються внаслідок того, що комп'ютери надають дійсні числа, використовуючи кінцеве число розрядів. Похибки усічення виникають при заміні безперервного процесу кінцевим. Наприклад, такі похибки можуть відбуватися, коли нескінченний ряд усикається після кінцевого числа членів або коли повторна дія припиняється після того, як критерій збіжності був задоволений. Похибки дискретизації виникають, коли безперервний процес, такий як обчислення похідної, апроксимується дискретним аналогом, таким як кінцева різниця. Позитивні результати, отримані при верифікації, не свідчать про те, що розрахункові рівняння є придатними, а тільки визначають, що рівняння реалізуються і розв'язуються правильно.

Для валідації експериментальних і розрахункових методів оцінювання вогнестійкості будівельних конструкцій необхідно мати дані щодо реальної поведінки будівельних конструкцій під час пожежі [2 – 4]. Якщо розглядають методи, які призначені для визначення теплового і (або) напружено-деформованого станів будівельних конструкцій під час пожежі, то дані щодо реальної поведінки отримати можна (за результатами випробувань,

експериментів або досліджень). Проблематичним є отримання таких даних у разі, якщо метод призначено для визначення товщини вогнезахисту будівельних конструкцій, за якої забезпечується їхня вогнестійкість у широкому діапазоні змінювання параметрів цих конструкцій. Це пов'язано, зокрема, з відсутністю (неможливістю створення) зразків конструкцій з визначеними властивостями, які можуть бути застосовані для валідації таких методів. Тому є підстави вважати, що недостатня визначеність процедур оцінювання методів визначення характеристик вогнестійкості будівельних конструкцій обумовлює необхідність проведення досліджень у цьому напрямі.

Мета і завдання дослідження. Зважаючи на зазначене, застосування зразків конструкцій з визначеними властивостями для валідації методів, призначених для визначення товщини вогнезахисту будівельних конструкцій, за якої забезпечується їхня вогнестійкість у широкому діапазоні змінювання параметрів цих конструкцій, метою дослідження було поставлено розроблення процедури валідації таких методів.

Для досягнення цієї мети необхідно було розв'язати такі завдання:

- визначити складові процедури валідації методів, призначених для визначення значень товщини вогнезахисту будівельних конструкцій, за яких забезпечується їхня вогнестійкість у широкому діапазоні змінювання параметрів цих конструкцій;

- оцінити придатність цієї процедури валідації шляхом її застосування для одного з методів, призначених для визначення товщини вогнезахисту будівельних конструкцій.

Методи дослідження. Методи, призначені для визначення значень товщини вогнезахисту будівельних конструкцій, за яких забезпечується їхня вогнестійкість у широкому діапазоні змінювання параметрів цих конструкцій, встановлено у різних частинах серії стандартів EN 13381, що мають загальну назву «Методи випробування з метою визначення впливу на вогнестійкість елементів конструкцій». Кожний з цих методів має дві складові – експериментальну і розрахункову. У експериментальній частині для стандартного набору зразків конструкцій проводять вимірювання їхньої температури в умовах вогневого впливу за стандартним температурним режимом. У розрахунковій частині за отриманими експериментальними даними щодо температури зразків конструкцій

за наведеною у стандартах розрахунковою процедурою визначають значення товщини вогнезахисту конструкцій, за яких забезпечується їхня вогнестійкість у широкому діапазоні змінювання параметрів цих конструкцій. Тому ці методи можна умовно називати експериментально-розрахунковими методами [13, 14].

Враховуючи те, що для валідації таких експериментально-розрахункових методів проблематичним є застосування зразків конструкцій з визначеними властивостями через відсутність можливості щодо їхнього створення, є доцільним у процедурі їхньої валідації впровадити етап, який полягає у проведенні обчислювального експерименту [13, 14]. На цьому етапі замість проведення натурального експерименту здійснюють розрахункове визначення температурного стану зразків конструкцій в умовах вогневого впливу за стандартним температурним режимом. При цьому задають точні (умовно) дані щодо їхніх теплофізичних властивостей – коефіцієнта теплопровідності й питомої теплоємності. Отримані розрахункові дані щодо температурного стану зразків вважають дійсними (точними) значеннями температури зразків. За цими даними із застосуванням розрахункової процедури, наведеної у експериментально-розрахунковому методі, визначають значення товщини вогнезахисту будівельної конструкції, за яких забезпечується її вогнестійкість у широкому діапазоні змінювання параметрів цієї конструкції. Отримані розрахункові дані порівнюють з розрахунковими (умовно дійсними, точними) значеннями товщини вогнезахисту, які визначають шляхом розв'язання прямої нестационарної задачі теплопровідності [13, 14]. За результатами цього порівняння роблять висновок щодо придатності й діапазону застосування експериментально-розрахункового методу, який оцінюють.

Для оцінювання придатності зазначеної процедури проведено валідацію експериментально-розрахункового методу, призначеного для визначення значень товщини вогнезахисних матеріалів для несучих сталевих конструкцій (колон і балок), положення якого наведено в [15]. Цей метод містить процедуру експериментального вимірювання температури десяти зразків сталевих колон, які облицьовано вогнезахисним матеріалом, для різної тривалості вогневого впливу за стандартним температурним режимом і процедуру розрахунку значень товщини вогнезахисного

матеріалу, за яких забезпечується вогнестійкість захищених сталевих конструкцій у широкому діапазоні змінювання їхніх параметрів. Процедура, яку застосовано для валідації цього методу, є такою.

Розв'язанням прямої задачі теплопровідності за заданими (умовно точними) даними щодо теплофізичних властивостей вогнезахисного матеріалу визначають розподіли температури $\theta_{a,ac}$ у часі в десяти зразках сталевих колон, які мають різні параметри – товщину вогнезахисного матеріалу і зведену товщину сталевого профілю, в умовах вогневого впливу за стандартним температурним режимом. За цими температурними даними для кожного зразка визначають значення тривалості $t_{cr,ac}$ досягнення температури 350°C, 400°C, 450°C, 500°C, 550°C, 600°C, 650°C, 700°C, 750°C. За отриманими даними щодо тривалості $t_{cr,ac}$ із застосуванням одного з методів оброблення експериментальних даних, наведених в [15], визначають розрахункові дані щодо теплофізичних властивостей вогнезахисного матеріалу і тривалості $t_{a,cul}$ досягнення зазначених вище температур. За результатами порівняння цієї тривалості зі значеннями тривалості $t_{cr,ac}$ встановлюють придатність отриманих розрахункових даних щодо теплофізичних властивостей вогнезахисного матеріалу за такими критеріями:

- для кожного зразка розрахункова тривалість $t_{a,cul}$ не повинна перевищувати більш ніж на 30 % тривалості $t_{cr,ac}$;
- середнє значення різниці між розрахунковою тривалістю $t_{a,cul}$ і тривалістю $t_{cr,ac}$ для кожного зразка має бути менше нуля;
- максимум 20 % всіх значень різниці між розрахунковою тривалістю $t_{a,cul}$ і тривалістю $t_{cr,ac}$ мають бути більше нуля.

Якщо вищевказані критерії придатності не виконуються, то проводять модифікацію (коригування значень) даних щодо теплофізичних властивостей вогнезахисного матеріалу, за результатами якої визначають дані, які задовольняють зазначені критерії.

Із використанням отриманих розрахункових даних щодо теплофізичних властивостей вогнезахисного матеріалу визначають розрахункові значення мінімальної товщини $d_{p,cul}$ вогнезахисного матеріалу, за яких забезпечуються нормовані межі вогнестійкості $t_{fi,requ}$ конструкцій з різною зведеною товщиною сталевого профілю V/A_p (або різним коефіцієнтом перерізу A_p/V). При цьому загалом розглядають нормовані значення межі вогнестійкості 15, 30, 60, 90, 120, 150, 180 і 240

хв, критичні температури сталі 350, 400, 450, 500, 550, 600, 650, 700, 750°C, зведені товщини сталевих профілю, які відповідають коефіцієнтам перерізу від 40 до 400 м⁻¹ з кроком 20 м⁻¹.

Отримані розрахункові дані щодо товщини $d_{p,cul}$ порівнюють зі значеннями $d_{p,ac}$, які визначають шляхом розв'язання прямої задачі теплопровідності за точними даними щодо теплофізичних властивостей вогнезахисного матеріалу. Для врахування похибки вимірювання температури зразків колон під час проведення натурних експериментів додатково здійснюють порівняння товщини $d_{p,ac}$ з даними щодо товщини $d_{p,cul}$, визначеними із застосуванням так званих збурених даних щодо температури зразків сталевих колон. За результатами цих порівнянь роблять висновок щодо придатності й діапазону застосування експериментально-розрахункового методу, призначеного для визначення значень товщини вогнезахисних матеріалів для несучих сталевих конструкцій (колон і балок) [15].

Результати дослідження. При дослідженні розглядали гіпотетичні (умовні) вогнезахисні матеріали, які забезпечують вогнезахист сталевих конструкцій за рахунок низької теплопровідності (далі – вогнезахисний матеріал №1) і високої теплоємності (далі – вогнезахисний матеріал №2). Вважали, що для цих вогнезахисних матеріалів значення теплофізичних властивостей є сталими (не залежать від температури) й становлять:

– для вогнезахисного матеріалу №1: коефіцієнт теплопровідності $\lambda_p = 0,03$ Вт/(м °C), питома об'ємна теплоємність $c_p \rho_p = 3 \cdot 10^4$ Дж/(м³ °C);

$$\Delta \theta_{a,t} = \left[\frac{\lambda_{p,t}/d_p}{c_a \rho_a} \times \frac{A_p}{V} \times \left(\frac{1}{1 + \phi/3} \right) \times (\theta_t - \theta_{a,t}) \Delta t \right] - [(e^{\phi/10} - 1) \Delta \theta_t], \quad (2)$$

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

$\Delta \theta_t$ – підвищення температури газового середовища за проміжок часу Δt , °C;

$\theta_{a,t}$ – температура сталевих колон для тривалості t , °C;

θ_t – температура газового середовища за стандартного температурного режиму для тривалості t , °C;

d_p – товщина вогнезахисного матеріалу, м;

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

ρ_a – густина сталі, кг/м³;

Δt – розрахунковий проміжок (крок) часу, с;

– для вогнезахисного матеріалу №2: коефіцієнт теплопровідності $\lambda_p = 0,3$ Вт/(м °C), питома об'ємна теплоємність $c_p \rho_p = 3 \cdot 10^6$ Дж/(м³ °C).

Розв'язання прямої задачі теплопровідності для визначення значень температури $\theta_{a,ac}$ і тривалості $t_{cr,ac}$ для зразків колон і товщини $d_{p,ac}$ вогнезахисного матеріалу виконано за методом кінцевих різниць по неявній схемі апроксимації із застосуванням математичної моделі, яку наведено в [16, 17]. Ця модель містить, зокрема, рівняння складного радіаційно-конвективного теплообміну на поверхні вогнезахисного матеріалу і таке рівняння теплопровідності у шарі вогнезахисного матеріалу:

$$c_p \rho_p \frac{\partial \theta_p}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda_p \frac{\partial \theta_p}{\partial x} \right), \quad (1)$$

де x – координата, м;

t – тривалість вогневого впливу, с;

θ_p – температура вогнезахисного матеріалу, °C;

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

c_p – питома масова теплоємність вогнезахисного матеріалу, Дж/(кг °C);

ρ_p – густина вогнезахисного матеріалу, кг/м³.

Для оброблення даних щодо тривалості $t_{cr,ac}$ застосовували два методи [15], які призначені для визначення товщини $d_{p,cul}$ вогнезахисного матеріалу: методи, засновані на розв'язанні диференційного рівняння теплопровідності (наближення: λ_p – стала, λ_p – змінна).

ϕ – коефіцієнт, який розраховують за такою формулою:

$$\phi = \frac{c_p \rho_p}{c_a \rho_a} \times d_p \times \frac{A_p}{V}, \quad (3)$$

Розрахунок теплофізичних властивостей вогнезахисного матеріалу для методу зі сталим коефіцієнтом теплопровідності проводили з використанням формули (4), для методу зі змінним коефіцієнтом теплопровідності – формули (5).

$$\lambda_p(\theta_d, d_p) = C_0 + C_1 \theta_d + C_2 d_p, \quad (4)$$

де C_0, C_1, C_2 – розрахункові коефіцієнти.

$$\lambda_{p,t}(t) = \left[d_p \times \frac{V}{A_p} \times c_a \rho_a \times (1 + \phi/3) \times \frac{1}{(\theta_t - \theta_{a,t}) \Delta t} \right] \times [\Delta \theta_{a,t} + (e^{\phi/10} - 1) \Delta \theta_t]. \quad (5)$$

Порівняння отриманих розрахункових даних щодо товщини $d_{p,cul}$ зі значеннями товщини $d_{p,ac}$ здійснювали із застосуванням такої формули:

$$\delta_d = 100(d_{p,cul} - d_{p,ac}) / d_{p,ac}. \quad (6)$$

За цією формулою визначено дані щодо різниці δ_d для вогнезахисних матеріалів №1, №2 для вищевказаного діапазону змінювання значень нормованої межі вогнестійкості, критичної температури сталі й зведеної товщини сталевго профілю. Результати розрахунку різниці δ_d , отримані за методом зі змінним коефіцієнтом теплопровідності для вогнезахисного матеріалу №1, для деяких значень нормованої межі вогнестійкості,

критичної температури сталі й зведеної товщини сталевго профілю, як приклад, наведено в таблиці 1. Дані щодо узагальнення значень цієї різниці для вогнезахисних матеріалів №1 і №2 наведені у таблицях 2, 3. У цих таблицях окрім даних, отриманих за точними температурами $\theta_{a,ac}$ зразків колон, надано дані, визначені із застосуванням збурених даних щодо температури зразків колон. Ці збурені дані імітують похибки вимірювання температури зразків колон під час проведення натурних експериментів і визначено шляхом внесення у точні значення температури $\theta_{a,ac}$ похибки до 10 % за допомогою генератора випадкових чисел [13, 18].

Таблиця 1 – Дані щодо різниці δ_d , отримані для вогнезахисного матеріалу №1 за методом зі змінним коефіцієнтом теплопровідності за точними даними щодо температури $\theta_{a,ac}$ зразків колон

Нормована межа вогнестійкості $t_{fi,requ}$, хв	30			120			240		
Критична температура сталі θ_{cr} , °C	350	500	750	350	500	750	350	500	750
Зведена товщина сталевго профілю V/A_p , мм	Різниця δ_d , %								
2,5	8,02	10,19	59,95	34,52	34,55	36,37	70,75	74,43	71,13
5,0	4,74	8,99	112,65	14,51	13,13	13,61	33,22	30,99	26,07
16,7	13,46	37,64	–	0,65	0,03	3,92	4,23	1,85	0,01

Таблиця 2 – Діапазони змінювання різниці δ_d і кількість значень цієї різниці в інтервалах цих діапазонів, визначені за методом зі сталим коефіцієнтом теплопровідності вогнезахисного матеріалу

Варіант розв'язання задачі	Діапазон змінювання різниці δ_d , %	Кількість значень (%) різниці δ_d у таких інтервалах:		
		до 10 %	від 10 % до 50 %	понад 50 %
Матеріал №1: точні дані: збурені дані:	від 0 до 111	50	38	12
	від 1 до 141	23	58	19
Матеріал №2: точні дані: збурені дані:	від –24 до 101	46	50	4
	від –24 до 107	46	46	8

Таблиця 3 – Діапазони змінювання різниці δ_d і кількість значень цієї різниці в інтервалах цих діапазонів, визначені за методом зі змінним коефіцієнтом теплопровідності вогнезахисного матеріалу

Варіант розв'язання задачі	Діапазон змінювання різниці δ_d , %	Кількість значень (%) різниці δ_d у таких інтервалах:		
		до 10 %	від 10 % до 50 %	понад 50 %
Матеріал №1:				
точні дані:	від 0 до 113	35	46	19
збурені дані:	від 5 до 125	15	50	35
Матеріал №2:				
точні дані:	від -27 до 126	50	38	12
збурені дані:	від -27 до 134	54	35	11

Обговорення результатів дослідження.

Як впливає з отриманих результатів, розрахункові значення товщини вогнезахисного матеріалу, отримані методами зі сталим і змінним коефіцієнтом теплопровідності, можуть значно відрізнятися від їхніх дійсних (точних) величин. Різниця між ними досягає 141 %. Це можна пояснити тим, що у зазначених методах застосовано рівняння теплопровідності (2), яке передбачає, що температура на поверхні вогнезахисного матеріалу дорівнює температурі газового середовища θ_g , що змінюється за стандартним температурним режимом. Крім цього, для розрахунку коефіцієнта теплопровідності у цих методах впроваджено спрощені алгоритми розв'язання оберненої задачі теплопровідності.

Для вогнезахисного матеріалу №1 (з низькою теплопровідністю) всі розрахункові значення товщини перевищують її точні величини. Для вогнезахисного матеріалу №2 (з високою теплоємністю) переважна кількість розрахункових значень товщини перевищує її точні величини і лише декілька відсотків отриманих даних менші точних значень. Це свідчить про те, що всі отримані для цих матеріалів результати є прийнятними з точки зору забезпечення вогнестійкості несучих сталевих конструкцій з їхнім застосуванням. Із зазначеного можна зробити висновок про придатність експериментально-розрахункового методу, призначеного для визначення значень товщини вогнезахисних матеріалів для несучих сталевих конструкцій (колон і балок) [15], при застосуванні двох процедур оброблення експериментальних даних, заснованих на розв'язанні диференційного рівняння теплопровідності (наближення: λ_p – стала, λ_p – змінна).

Значення різниці між розрахунковою і точною товщиною вогнезахисних матеріалів, отримані за збуреними даними щодо температури зразків сталевих колон, незначно

відрізняються від величин, отриманих за точними даними щодо цієї температури. Це свідчить про стійкість розглянутих методів оброблення експериментальних даних стосовно похибки вимірювання температури зразків колон. Діапазон змінювання цієї різниці для методу із сталим коефіцієнтом теплопровідності вогнезахисного матеріалу співпадає з діапазоном, визначеним для методу із змінним коефіцієнтом теплопровідності. Це дозволяє стверджувати про рівнозначність застосування таких методів за точнісними показниками. Таке ствердження можна вважати за доцільне з практичної точки зору щодо вибору метода оброблення експериментальних даних. Однак неможливо не зазначити, що результати проведеного дослідження мають певну невизначеність. Це проявляється, у першу чергу, в тому, що при дослідженні було застосовано вогнезахисні матеріали, які мають сталі теплофізичні властивості. При використанні під час валідації метода вогнезахисних матеріалів зі змінними теплофізичними властивостями не виключена можливість отримання результатів, які будуть відрізнятися від отриманих у даному дослідженні. Можливість отримання таких же результатів неможна виключити і при застосуванні розв'язання трьохвимірної прямої задачі теплопровідності замість розв'язання одновимірної. Крім цього, не було досліджено вплив напружено-деформованого стану зразків сталевих конструкцій під час випробування на результати визначення товщини вогнезахисних матеріалів за методом, який оцінювали. Неможливість зняти названі обмеження у рамках даного дослідження породжує потенційно цікавий напрям подальших досліджень. Вони, зокрема, можуть бути орієнтовані на виявлення впливу теплофізичних властивостей вогнезахисних матеріалів і напружено-деформованого стану зразків сталевих конструкцій під час випробування на точнісні показники методу. Таке виявлення

дозволить визначити більш прийнятні процедури оцінювання методу й оброблення експериментальних даних із підвищеною точністю.

Висновки. Проведеним дослідженням визначено особливості оцінювання методів визначення характеристик вогнестійкості будівельних конструкцій. Встановлено, що для валідації експериментально-розрахункових методів, призначених для визначення товщини вогнезахисту будівельних конструкцій, за якої забезпечується їхня вогнестійкість у широкому діапазоні змінювання параметрів цих конструкцій, неможливе застосування зразків конструкцій з визначеними властивостями через неспроможність їхнього створення, і запропоновану процедуру такої валідації із застосуванням методу обчислювального експерименту.

Визначено придатність запропонованої процедури валідації шляхом її застосування для експериментально-розрахункового методу, призначеного для визначення товщини

вогнезахисних матеріалів для несучих сталевих конструкцій (колон і балок). Встановлено, що переважна кількість розрахункових значень товщини вогнезахисних матеріалів, визначених за цим методом, перевищує її дійсні величини, що свідчить про прийнятність отриманих результатів з точки зору забезпечення вогнестійкості несучих сталевих конструкцій. З'ясовано, що різниця між розрахунковими й дійсними значеннями товщини вогнезахисних матеріалів може досягати значної величини (у два рази й більше).

Визначено напрям подальших досліджень, які орієнтовані на виявлення впливу теплофізичних властивостей вогнезахисних матеріалів і напружено-деформованого стану зразків сталевих конструкцій під час випробування на точнісні показники методу, що дозволить визначити більш прийнятні процедури оцінювання методу й оброблення експериментальних даних з підвищеною точністю.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2:2010 Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-2. Загальні дії. Дії на конструкції під час пожежі (EN 1991-1-2:2002, IDT).
2. ISO 16730:2008 Fire safety engineering – Assessment, verification and validation of calculation methods (Пожежно-технічний аналіз. Оцінювання, верифікація та валідація методів розрахунку).
3. ISO 16730-1:2015 Fire safety engineering – Procedures and requirements for verification and validation of calculation methods – Part 1: General (Пожежно-технічний аналіз. Процедури та вимоги до верифікації та валідації методів розрахунку. Частина 1. Загальні положення).
4. ДСТУ ISO/IEC 17025:2017 Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій (ISO/IEC 17025:2017, IDT).
5. ISO 5725 Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results – Parts 1-6 (Точність (вірогідність та прецизійність) методів вимірювання та результатів. Частина 1-6).
6. Magnusson B. and Örnemark (eds.) U. Eurachem Guide: The Fitness for Purpose of Analytical Methods – A Laboratory Guide to Method Validation and Related Topics, (2nd ed. 2014). ISBN 978-91-87461-59-0.
7. ISO/TR 16730-2:2013 Fire safety engineering – Assessment, verification and validation of calculation methods – Part 2: Example of a fire zone model (Пожежно-технічний аналіз. Оцінювання, верифікація та валідація методів розрахунку. Частина 2. Приклад зонної моделі пожежі).
8. ISO/TR 16730-3:2013 Fire safety engineering – Assessment, verification and validation of calculation methods – Part 3: Example of a CFD model (Пожежно-технічний аналіз. Оцінювання, верифікація та валідація методів розрахунку. Частина 3. Приклад моделі обчислювальної гідродинаміки).
9. ISO/TR 16730-4:2013 Fire safety engineering – Assessment, verification and validation of calculation methods – Part 4: Example of a structural model (Пожежно-технічний аналіз. Оцінювання, верифікація та валідація методів розрахунку. Частина 4. Приклад моделі конструкції).
10. ISO/TR 16730-5:2013 Fire safety engineering – Assessment, verification and validation of calculation methods – Part 5: Example of an Egress model (Пожежно-технічний аналіз. Оцінювання, верифікація та валідація методів розрахунку. Частина 5. Приклад моделі евакуації).
11. Bénichou N. Structural Response Model for Wood Stud Wall Assemblies / N. Bénichou, D. Morgan // Theory Manual, Research Report – Institute for Research in Construction, National Research Council Canada – 2003. – Vol. 128, April 01. – P. 10.
12. Новак С.В. Валідація та верифікація методів розрахунку вогнестійкості будівельних конструкцій / С.В. Новак, М.С. Новак // Матеріали IX Міжнародної науково-практичної конференції «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій» 18-19 травня 2018 р. – Черкаси: Черкаський інститут пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2018. – С. 184–185.
13. Круковский П. Г. Обратные задачи тепломассопереноса (общий инженерный подход) – Киев: Институт технической теплофизики НАН Украины, 1996. – 218 с.
14. Определение границ применимости и точности стандартизированных методов оценки огнестойкости способности покрытий несущих металлических конструкций / С.В. Новак, Н.Б. Григорьян, П.Г. Круковский // Науковий вісник УкрНДІПБ. – К.: УкрНДІПБ, 2014. – № 1 (29). – С. 50–59.
15. ДСТУ Б В.1.1-17:2007. Вогнезахисні покриття для будівельних несучих металевих конструкцій. Метод визначення вогнезахисної здатності (ENV 13381-4:2002, NEQ).

16. ДСТУ-Н Б В.2.6-211:2016 Проектування сталевих конструкцій. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість.
17. Novak S.V. Identification of thermophysical characteristics of the fire-protective coatings according to the data of testing on fire-resistance / S.V. Novak, I.A. Kharchenko, P.G. Krukovsky // 2nd European Thermal-Sciences and

- 14th UIT National Heat Transfer Conference 1996. – Rome, Italy: Edizioni ETS. – 1996. – Vol. 2. – P. 689–694.
18. Цвиркун С.В. Усовершенствование метода определения огнезащитной способности покрытий металлических конструкций: автореф. дис. на соискание научн. степени канд. техн. наук: спец. 21.06.02 «пожарная безопасность» / С.В. Цвиркун. – Киев, 2006. – 20 с.

REFERENCES

1. DSTU-N Б EN 1991-1-2:2010 Eurokod 1. Дії на конструкції. Частина 1-2. Загал'ні дії. Дії на конструкції під час пожежі (EN 1991-1-2:2002, IDT).
2. ISO 16730:2008 Fire safety engineering – Assessment, verification and validation of calculation methods.
3. ISO 16730-1:2015 Fire safety engineering – Procedures and requirements for verification and validation of calculation methods – Part 1: General.
4. DSTU ISO/IEC 17025:2017 Загал'ні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій (ISO/IEC 17025:2017, IDT).
5. ISO 5725 Accuracy (trueness and precision) of measurement methods and results – Parts 1-6
6. Magnusson B. and Örnemark (eds.) U. Eurachem Guide: The Fitness for Purpose of Analytical Methods – A Laboratory Guide to Method Validation and Related Topics, (2nd ed. 2014). ISBN 978-91-87461-59-0.
7. ISO/TR 16730-2:2013 Fire safety engineering – Assessment, verification and validation of calculation methods – Part 2: Example of a fire zone model (Pozhezhno-tehnichnij analiz. Ocinjuvannja, verifikacija ta validacija metodiv rozrahunku. Chastina 2. Priklad zonnioi modeli pozhhezhi).
8. ISO/TR 16730-3:2013 Fire safety engineering – Assessment, verification and validation of calculation methods – Part 3: Example of a CFD model.
9. ISO/TR 16730-4:2013 Fire safety engineering – Assessment, verification and validation of calculation methods – Part 4: Example of a structural model.
10. ISO/TR 16730-5:2013 Fire safety engineering – Assessment, verification and validation of calculation methods – Part 5: Example of an Egress model.
11. Bénichou N. Structural Response Model for Wood Stud Wall Assemblies / N. Bénichou, D. Morgan // Theory Manual, Research Report – Institute for Research in Construction, National Research Council Canada – 2003. – Vol. 128, April 01. – P. 10.
12. Novak S.V. Validacija ta verifikacija metodiv rozrahunku vognestijkosti budivel'nih konstrukcij / S.V. Novak, M.S. Novak // Materiali IH Mizhnarodnoї naukoivo-praktichnoї konferenciji «Teorija i praktika gasinnja pozhhez ta likvidaciji nadzvichajnih situacij» 18-19 travnja 2018 r. – Cherkasi: Cherkas'kij institut pozhheznoї bezpeki im. Geroiv Chornobilja NUCZ Ukraїni, 2018. – S. 184–185.
13. Krukovskij P. G. Obratnye zadachi teplomassoperenosa (obshhij inzhenernyj podhod) – Kiev: Institut tehničeskoj teplofiziki NAN Ukraїny, 1996. – 218 s.
14. Opređenje granic primenimosti i točnosti standartizirovannyh metodov ocenki ogneshhitnoj sposobnosti pokrytij nesushhih metallicheskih konstrukcij / S.V. Novak, N.B. Grigor'jan, P.G. Krukovskij // Naukovij visnik UkrNDIPB. – K.: UkrNDICZ, 2014. – № 1 (29). – S. 50–59.
15. DSTU Б В.1.1-17:2007. Vognezahisni pokrittja dlja budivel'nih nesuchih metalevih konstrukcij. Metod viznachennja vognezahisnoї zdatnosti (ENV 13381-4:2002, NEQ).
16. DSTU-N Б В.2.6-211:2016 Proektuvannja stalevih konstrukcij. Rozrahunok konstrukcij na vognestijkist'.
17. Novak S.V. Identification of thermophysical characteristics of the fire-protective coatings according to the data of testing on fire-resistance / S.V. Novak, I.A. Kharchenko, P.G. Krukovsky // 2nd European Thermal-Sciences and 14th UIT National Heat Transfer Conference 1996. – Rome, Italy: Edizioni ETS. – 1996. – Vol. 2. – P. 689–694.
18. Cvirkun S.V. Usovershenstvovanie metoda opredelenija ogneshhitnoj sposobnosti pokrytij metallicheskih konstrukcij: avtoref. dis. na soiskanie nauchn. stepeni kand. tehn. nauk: spec. 21.06.02 «pozharnaja bezopasnost'» / S.V. Cvirkun. – Kiev, 2006. – 20 s.

PECULIARITIES OF EVALUATION OF METHODS OF DETERMINATION OF CHARACTERISTICS OF FIRE RESISTANCE OF BUILDING STRUCTURES

S. Novak¹, Cand. of Sc. (Eng.), Sen. St. Sc., M. Novak², O. Bedryuk¹

¹The Ukrainian Civil Protection Research Institute, Ukraine

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

KEYWORDS

building design, fire protection material, fire resistance, method evaluation, validation, verification

ANNOTATION

The results of the study aimed at further improvement and development of procedures for evaluating methods of determining the fire resistance characteristics of building structures are presented. The features of estimation of methods of determination of characteristics of fire resistance of building structures are determined. It is established that for the validation of experimental-calculation methods intended to determine the thickness of fire protection of building structures, which ensures their fire resistance in a wide range of parameters of these structures, it is impossible to use samples of structures with certain properties due to their inability to create. A procedure for such validation using a computational experiment method is proposed. In this procedure, accurate (conditional) temperature data for steel column specimens are determined by solving a direct one-dimensional non-stationary thermal conductivity problem. The validity of the proposed validation procedure by its application for the experimental calculation method, designed to determine the thickness of fire protection materials for load-bearing steel structures (columns and beams), has been established. It is established that the overwhelming number of calculated values of the thickness of the fire protection materials, determined by this method, exceeds its true values, which indicates the acceptability of the obtained results in terms of providing fire resistance of load-bearing steel structures. It is established that the difference between the calculated and actual values of the thickness of the fire protection materials can reach a considerable value (twice or more). The direction of further researches which are focused on revealing of influence of thermophysical properties of fire protection materials and stress-deformed state of samples of steel structures during the test on the accuracy of the method. This will identify more appropriate procedures for evaluating the method and processing the experimental data with increased accuracy.

ОСОБЕННОСТИ ОЦЕНИВАНИЯ МЕТОДОВ ОПРЕДЕЛЕНИЯ ХАРАКТЕРИСТИК ОГНЕСТОЙКОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ КОНСТРУКЦИЙ

С.В. Новак¹, канд. техн. наук, ст. научн. сотр., М.С. Новак², О.И. Бедратюк¹

¹Украинский научно-исследовательский институт гражданской защиты, Украина

²Национальный технический университет Украины «Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Украина

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

валидация, верификация, огнезащитный материал, огнестойкость, оценивание метода, строительная конструкция

АННОТАЦИЯ

Приведены результаты исследования, направленного на дальнейшее совершенствование и развитие процедур оценивания методов определения характеристик огнестойкости строительных конструкций. Определены особенности оценивания методов определения характеристик огнестойкости строительных конструкций. Предложена процедура валидации экспериментально-расчетных методов, предназначенных для определения толщины огнезащиты строительных конструкций, при которой обеспечивается их огнестойкость в широком диапазоне изменения параметров этих конструкций, основанная на проведении вычислительного эксперимента. Установлена пригодность предложенной процедуры валидации путем ее применения для экспериментально-расчетного метода, предназначенного для определения толщины огнезащитных материалов для несущих стальных

конструкций (колонн и балок). Определено направление дальнейших исследований, которые ориентированы на выявление влияния теплофизических свойств огнезащитных материалов и напряженно-деформированного состояния образцов стальных конструкций при испытании на точностные показатели метода, позволяющего определить более приемлемые процедуры оценивания метода и обработки экспериментальных данных с повышенной точностью.

УДК 614.841.3

СИСТЕМАТИЗАЦІЯ ПРОЦЕСУ УПРАВЛІННЯ ПОЖЕЖНОЮ БЕЗПЕКОЮ ОБ'ЄКТА ЗАХИСТУ

О.О. Сізіков, канд. техн. наук, ст. наук. співр., В.В. Ніжник, канд. техн. наук, ст. наук. співр., Я.В. Балло*, канд. техн. наук, С.Ю. Голікова, О.В. Савченко

Український науково-дослідний інститут цивільного захисту, Україна

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 23.10.2019

Пройшла рецензування: 09.12.2019

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

система управління пожежною безпекою об'єкта, організаційно-управлінські заходи, суб'єкт управління пожежною безпекою об'єкта захисту, об'єкт управління, організаційна структура, алгоритм управління

АНОТАЦІЯ

Наведені результати досліджень щодо обґрунтування загальних положень системи управління пожежною безпекою об'єкта захисту. Вперше встановлено низку термінів та визначень понять, які характеризують та конкретизують окремі елементи системи управління пожежною безпекою об'єкта. Показано недосконалість існуючих підходів щодо наявних організаційних заходів забезпечення пожежної безпеки на об'єкті захисту. Наведено вітчизняний та зарубіжний досвід щодо ефективної реалізації управлінського впливу за допомогою управлінських рішень суб'єктів управління об'єкта захисту, що дозволяє реалізовувати на об'єктах різного функціонального призначення організаційні вимоги та технічні вимоги до системи запобігання пожежі та комплексу протипожежного захисту. В результаті проведених досліджень розроблено організаційну структуру системи управління пожежною безпекою об'єкта та встановлені вимоги щодо її функціонування та алгоритму управління.

Вступ. Важко не погодитись з авторами публікації [1], які стверджують, що поняття «пожежна безпека» (далі – ПБ) об'єкта має не лише технічний зміст (тобто, що це не тільки сукупність протипожежних інженерно-технічних, будівельно-архітектурних та організаційно-технічних заходів та засобів), але й певний «організаційно-управлінський зміст» із забезпечення ПБ об'єкта, який передбачає відповідні організаційно-управлінські заходи. Технічні протипожежні заходи реалізуються на об'єкті у тому числі завдяки управлінській діяльності осіб, які є суб'єктами управління ПБ об'єкта.

Згідно [2] перелік організаційно-технічних заходів із забезпечення ПБ об'єкта захисту, наведений в основоположному стандарті [3], є обмеженим, а вимоги щодо формування організаційної структури для забезпечення управління ПБ об'єкта та її функціонування взагалі відсутні.

Тому на основі проведених досліджень [4] розроблено національний стандарт [5], який удосконалює у цілому систему забезпечення ПБ об'єктів, зокрема тим, що на об'єкті, окрім системи запобігання пожежі та комплексу протипожежного захисту (у минулому – системи протипожежного захисту), необхідно передбачити систему управління ПБ об'єкта, що відповідає європейським підходам.

Стандарт [5] вперше в Україні на рівні державної стандартизації вводить поняття «системи управління пожежною безпекою об'єкта» (далі – СУПБ), яке визначається як: <https://doi.org/10.33269/nvcs.2019.2.41-49>

сукупність заходів суб'єкта управління пожежною безпекою об'єкта з обстеження, аналізу й оцінки стану ПБ об'єкта захисту, прийняття, організації та контролю виконання управлінських рішень для забезпечення ПБ об'єкта захисту.

Важливість та необхідність функції управління різноманітними процесами у різних сферах діяльності підтверджує перелік міжнародних та національних стандартів України, гармонізованих з міжнародними нормативними документами, а саме щодо: системи управління якістю [6], системи екологічного управління [7], системи управління безпечністю харчових продуктів [8], системи управління інформаційною безпекою [9], системи управління безпекою дорожнього руху [10], системи контролювання гігієни та керування безпекою праці [11].

Враховуючи те, що національний стандарт [5] містить лише концептуальні вимоги до СУПБ, проведено дослідження щодо обґрунтування загальних положень СУПБ та стандартизовано: терміни та визначення понять стосовно СУПБ; основні завдання СУПБ, її організаційна структура; порядок функціонування СУПБ (алгоритм управління); управлінські заходи щодо виконання технічних вимог, передбачених системою запобігання пожежі та забезпечення протипожежного режиму об'єкта захисту; управлінські заходи щодо виконання технічних вимог, передбачених комплексом протипожежного захисту об'єкту захисту. Таким чином,

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

проблемним питанням залишається недосконалість існуючих підходів щодо наявних організаційних заходів забезпечення пожежної безпеки на об'єкті захисту, чому й присвячена дана робота.

Мета, об'єкт та предмет досліджень.

Метою роботи є удосконалення протипожежного захисту об'єктів шляхом обґрунтування загальних положень СУПБ, яка завдяки управлінським рішенням суб'єкта управління сприяє досягненню прийнятного рівня ризику виникнення пожежі на об'єкті захисту.

Постановка задач та їх вирішення. Для досягнення поставленої мети необхідно було розв'язати такі задачі:

- провести аналіз статистичних даних про пожежі та їхні наслідки на підприємствах, в організаціях і закладах стосовно виявлення впливу на них невиконання чи відсутності організаційно-управлінських заходів щодо забезпечення пожежної безпеки об'єкта;

- провести аналітичні дослідження впливу державної системи управління пожежною безпекою на СУПБ об'єкта;

- провести аналіз вітчизняної та закордонної законодавчої бази, нормативних та нормативно-правових актів щодо організаційно-управлінської діяльності суб'єктів управління пожежною безпекою об'єкта захисту;

- провести аналіз кваліфікаційних вимог до посадових осіб, відповідальних за забезпечення ПБ об'єкта, а також нормативного забезпечення організації та проведення інструктажів, навчання та перевірки знань з питань ПБ осіб, що перебувають на об'єкті захисту;

- провести аналіз законодавчих та нормативно-правових актів щодо класифікації суб'єктів господарювання для опрацювання організаційної структури СУПБ об'єкта захисту;

- обґрунтувати загальні положення СУПБ об'єкта захисту.

За результатами досліджень статистичних даних про пожежі та їхні наслідки на підприємствах, в організаціях і закладах України впродовж 2008–2017 років стосовно виявлення впливу на них невиконання або відсутності організаційно-управлінських заходів щодо забезпечення ПБ, визначені основні порушення, зокрема, пов'язані з: відсутністю на об'єктах інструкцій щодо порядку поводження з пожежно-небезпечними речовинами та матеріалами; організацією на

об'єкті протипожежного режиму; забезпеченням нормованої, у порівнянні з фактичною, чисельності людей на об'єктах за умовами їх безпеки під час пожежі; організацією порядку зберігання речовин і матеріалів, у залежності від їх фізико-хімічних і пожежонебезпечних властивостей; недостатнім рівнем організації навчання та проведенням інструктажів з правил ПБ працівників; низьким рівнем проведення заходів щодо порядку дій на випадок виникнення пожеж та евакуації людей; неефективністю використання протипожежної техніки під час гасіння пожеж; відсутністю паспортизації речовин, матеріалів, виробів, будівель і споруд у частині забезпечення ПБ; низьким рівнем застосування засобів наочної агітації із забезпечення ПБ.

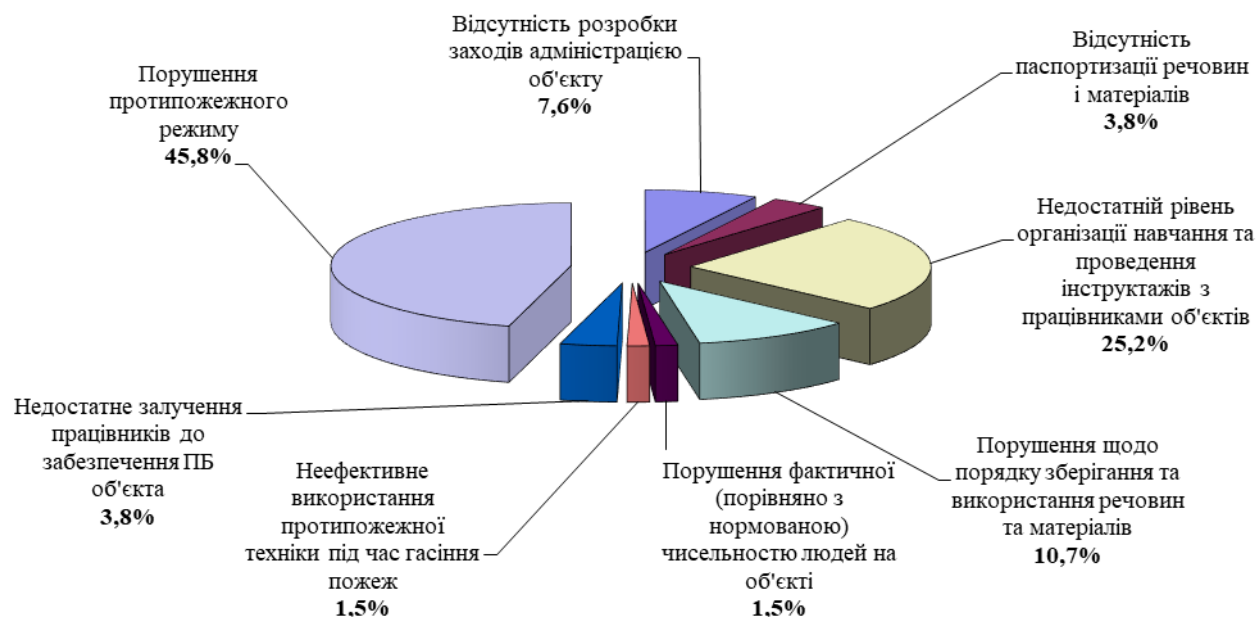
Крім того, на об'єктах можливе порушення норм і правил ПБ, які пов'язані зі здійсненням адміністрацією об'єктів вводу в експлуатацію незастрахованих об'єктів та не повідомлення про свою діяльність органів Державного нагляду (контролю) у сфері пожежної безпеки (далі – ОДН ПБ) й отримання від них дозвільної документації на провадження своєї діяльності, що свідчить про недостатню взаємодію суб'єктів господарювання з зовнішніми суб'єктами, які впливають на забезпечення ПБ об'єкта захисту.

Як видно на рисунку 1, найбільший відсоток порушень (45,8%) пов'язаний з відсутністю управлінських заходів суб'єктів управління ПБ об'єктів, направлених на організацію протипожежного режиму на адміністративних, виробничих і торговельних об'єктах; 25,2% становлять порушення, пов'язані з недостатнім рівнем організації суб'єктами управління ПБ об'єктів навчання та проведенням інструктажів з питань ПБ з працівниками.

Наведені дані підтверджують недостатній рівень процесу управління станом ПБ об'єктів або відсутність управління цим процесом взагалі, а також недосконалість існуючих організаційно-управлінських заходів суб'єктів управління забезпеченням ПБ об'єктів та необхідність впровадження на об'єктах СУПБ, основними завданнями якої є:

- проведення технічної політики з питань пожежної безпеки, яка відповідає сучасному рівню розвитку науки й техніки;

- здійснення організаційно-управлінських заходів для виконання технічних вимог, передбачених системою запобігання пожежі [5] та забезпечення протипожежного режиму об'єкта захисту [12];



- Рисунок 1 – Основні порушення ПБ, обумовлені невиконанням організаційно-управлінських заходів
- здійснення управлінських заходів для виконання технічних вимог, передбачених комплексом протипожежного захисту [5];
 - забезпечення своєчасного усунення порушень вимог законодавства та нормативно-правових актів у сфері пожежної безпеки згідно з przepisami ОДН ПБ;
 - матеріально-технічне забезпечення об'єкта захисту протипожежною технікою (системами протипожежного захисту [13], первинними засобами пожежогасіння тощо) та засобами протипожежного захисту (вогнегасними речовинами, вогнезахисними речовинами та матеріалами, вогнеперешкоджальними пристроями тощо);
 - забезпечення прийнятого рівня ризику виникнення пожежі на об'єкті та підвищення ймовірності успішного евакуювання людей у разі виникнення пожежі на об'єкті захисту, підвищення ефективності ліквідації пожежі.

У результаті проведеного аналізу вітчизняної та закордонної законодавчої бази, нормативно-правових та нормативних актів щодо організаційно-управлінської діяльності суб'єктів управління ПБ об'єктів захисту встановлені такі терміни та визначення понять:

- суб'єкт управління пожежною безпекою об'єкта захисту – посадові особи органів виконавчої влади, посадові особи органів місцевого самоврядування, відповідальні за пожежну безпеку об'єкта захисту, а також суб'єкти господарювання (власники або керівники цих суб'єктів господарювання, або орендарі об'єкта захисту згідно з цивільно-правовим договором), посадові особи, призначені відповідальними за пожежну безпеку об'єкта захисту;

- об'єкт управління пожежною безпекою об'єкта захисту – діяльність осіб, які перебувають на об'єкті захисту;

- управлінські заходи щодо забезпечення пожежної безпеки об'єкта захисту – сукупність управлінських заходів, спрямованих на виконання технічних вимог, передбачених системою запобігання пожежі, комплексом протипожежного захисту та забезпечення протипожежного режиму на об'єкті захисту;

- управління пожежною безпекою об'єкта захисту – процес впливу суб'єкта управління пожежною безпекою на діяльність осіб, які перебувають на об'єкті захисту для забезпечення відсутності на цьому об'єкті неприпустимого ризику виникнення та розвитку пожежі;

- оцінювання протипожежного стану об'єкта захисту – оцінювання об'єкта захисту щодо реалізації встановлених вимог пожежної безпеки, яке охоплює етапи обстеження та аналізування.

На основі аналізу чинних в Україні законодавчих та нормативно-правових актів щодо класифікації суб'єктів господарювання [14, 15] розроблено організаційну структуру СУПБ об'єкта захисту та встановлено наступне:

- діяльність із забезпечення пожежної безпеки, згідно з [16], є складовою виробничої та іншої діяльності посадових осіб та інших осіб, які перебувають на об'єкті захисту;

- організаційна структура СУПБ повинна базуватися на наявній на об'єкті захисту організаційно-штатній структурі управління виробничою та іншою діяльністю;

– на об'єкті захисту повинна створюватись відповідна організаційна структура СУПБ залежно від його особливостей щодо: існуючої організаційно-штатної структури управління виробничою та іншою діяльністю; функціонального призначення об'єкта; кількості осіб, які працюють та/або перебувають на об'єкті; категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою; пожежної небезпеки технологічних процесів на об'єкті; пожежної небезпеки речовин та матеріалів, які використовують на об'єкті тощо.

Організаційна структура СУПБ об'єкта захисту в залежності від його особливостей може складатися з:

– індивідуальних суб'єктів управління ПБ об'єкта захисту (власників або керівників суб'єктів господарювання, або орендарів об'єкта захисту, що визначено умовами договору оренди, або посадових осіб, призначених розпорядчим документом, які відповідають за певний напрям забезпечення пожежної безпеки об'єкта захисту);

– індивідуальних та колективних (колегіальних) суб'єктів управління ПБ об'єкта захисту (служби пожежної безпеки, комісії з питань надзвичайних ситуацій, підрозділів відомчої, місцевої або добровільної пожежної охорони).

Загальну схему організаційної структури системи управління пожежною безпекою об'єкта захисту наведено на рисунку 2.

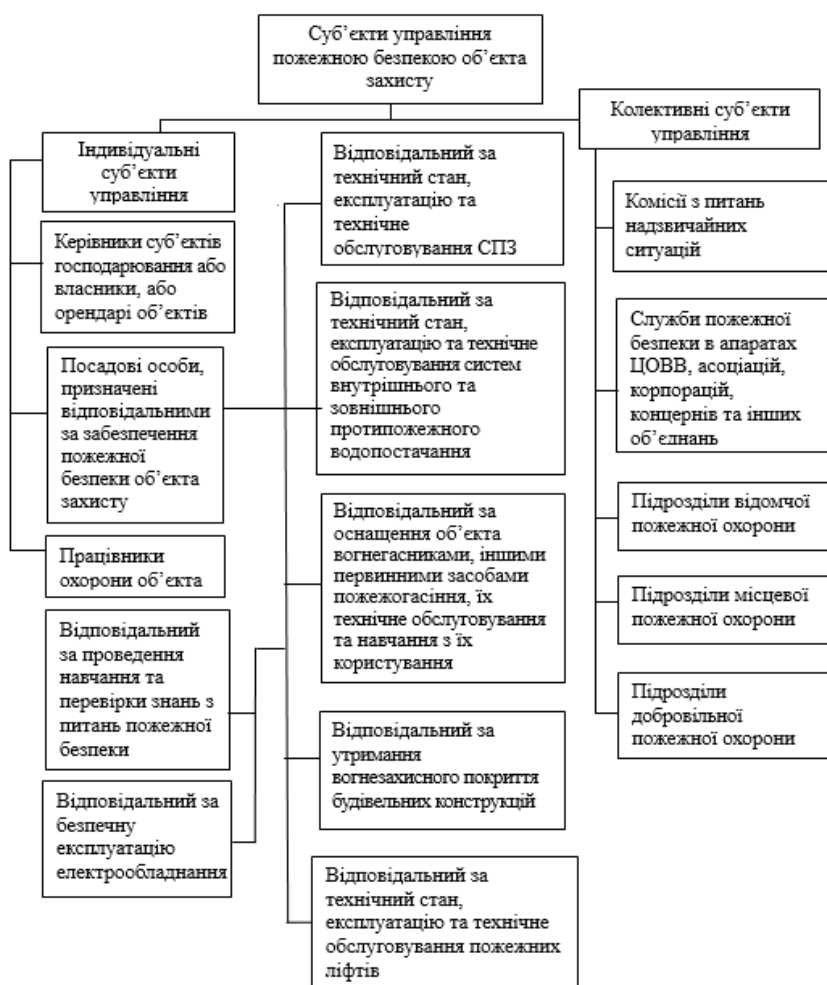


Рисунок 2 – Загальна схема організаційної структури СУПБ об'єкта захисту

Крім того, СУПБ передбачає встановлення на об'єкті захисту відповідних правових та організаційних норм, а саме:

- рівнів відповідальності кожної посадової особи суб'єктів управління ПБ об'єкта захисту;
- розподілу обов'язків та повноважень між посадовими особами суб'єктів управління ПБ об'єкта захисту;
- забезпечення необхідного рівня компетенції та кваліфікації посадових осіб суб'єктів управління ПБ об'єкта захисту;
- визначення певного алгоритму управління (технології управління) ПБ об'єкта захисту, тобто забезпечення спільних дій структурних елементів СУПБ;
- забезпечення суб'єкта управління ПБ об'єкта захисту необхідними нормативними документами у сфері пожежної безпеки (стандартів, будівельних норм, інструкцій, положень, правил тощо) та розпорядчих документів.
- створення умов матеріального та морального стимулювання посадових осіб СУПБ для активізації їхньої діяльності та заохочення щодо забезпечення ПБ об'єкта захисту.

Функціонування СУПБ об'єкта захисту має бути забезпечене:

- формуванням організаційної структури СУПБ;
- обстеженням стану ПБ об'єкта захисту суб'єктом управління ПБ об'єкта захисту або суб'єктом господарювання, який одержав відповідну ліцензію;
- передаванням інформації щодо стану ПБ об'єкта захисту суб'єктом господарювання, який одержав відповідну ліцензію, суб'єкту управління ПБ, який приймає відповідні управлінські рішення;
- аналізуванням та оцінюванням протипожежного стану об'єкта захисту суб'єктом управління ПБ об'єкта захисту або суб'єктом господарювання, який одержав відповідну ліцензію;
- прийняттям суб'єктом управління ПБ об'єкта захисту відповідних управлінських рішень (заходів) та організацією фінансування заходів щодо забезпечення ПБ об'єкта захисту;
- здійсненням управлінського впливу суб'єкта управління ПБ об'єкта захисту на об'єкт управління, тобто організацією виконання запланованих управлінських рішень (заходів) щодо забезпечення ПБ об'єкта захисту, а також контролем за їхнім виконанням;

– здійсненням взаємодії суб'єкта управління ПБ об'єкта захисту з зовнішніми суб'єктами, що впливають на забезпечення ПБ цього об'єкта.

Загальну схему функціонування системи управління ПБ об'єкта захисту наведено на рисунку 3.

Обстеження стану ПБ об'єкта захисту (етап А, рисунок 3) щодо ідентифікації пожежних небезпек та можливості реалізації потенційних загроз виникнення та розвитку пожежі є процесом отримання необхідної інформації для прийняття відповідних управлінських рішень.

Управління ПБ об'єкта захисту має здійснюватися за наявності повної, своєчасної й правдивої інформації про стан пожежної безпеки (етап Б, рисунок 3). Одержання такої інформації суб'єктом управління ПБ, виявлення відхилень від норм і правил пожежної безпеки, а також перевірка виконання попередніх планів, приписів і управлінських рішень здійснюються на основі регулярного та об'єктивного контролю.

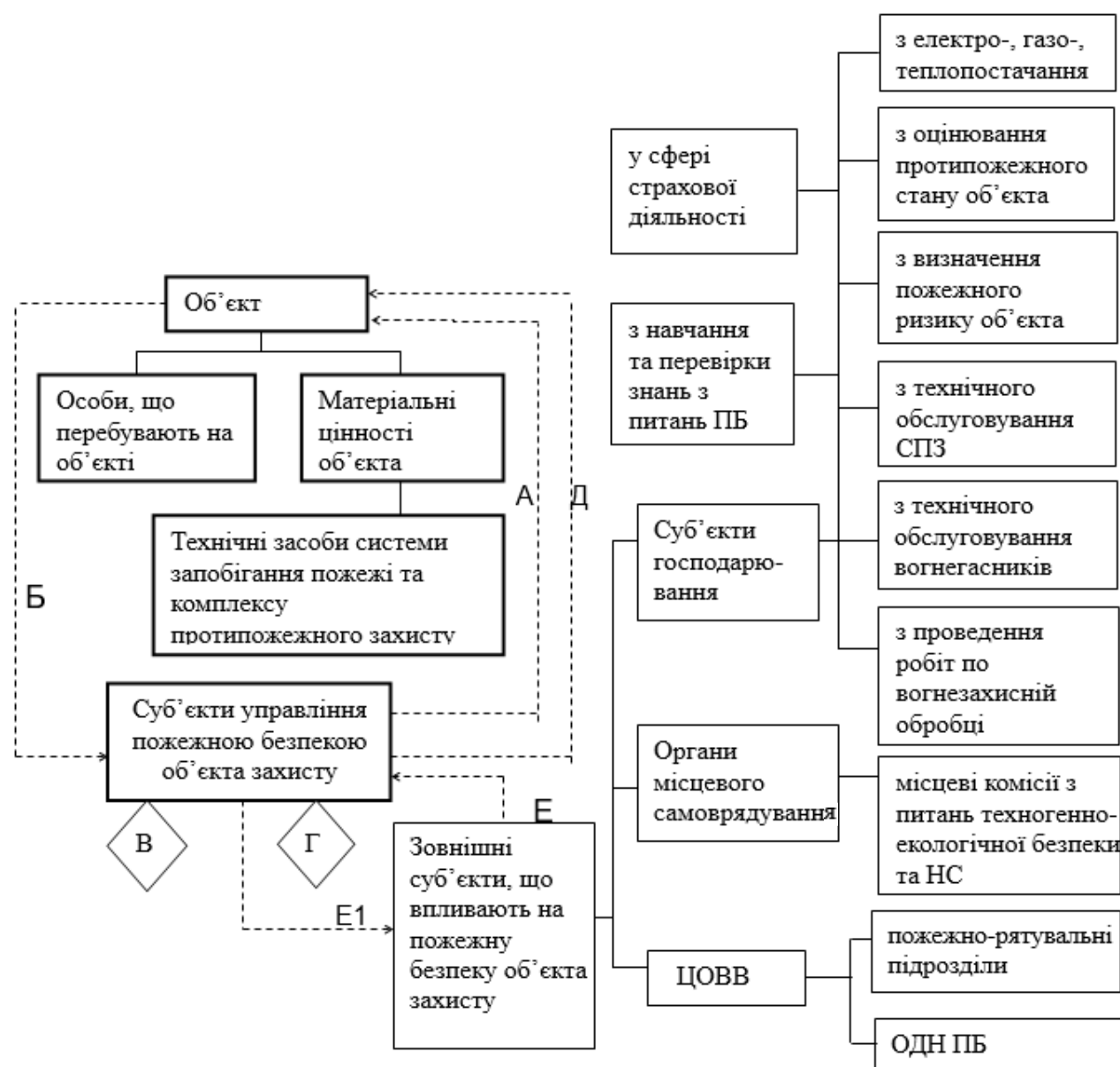
Аналізування та оцінювання стану ПБ об'єкта (етап В, рисунок 3), у тому числі з оцінювання пожежного ризику, здійснюється на основі інформації, отриманої під час обстеження стану ПБ, а також її аналізування, шляхом визначення відповідності стану ПБ об'єкту вимогам нормативно-правових та нормативних документів у сфері пожежної безпеки.

На основі даних щодо оцінювання стану ПБ об'єкта захисту суб'єкт управління приймає управлінські рішення (етап Г, рисунок 3).

Наступним етапом процесу управління ПБ об'єкта захисту є здійснення суб'єктом управління ПБ управлінського впливу на об'єкт управління (етап Д, рисунок 3), тобто організація виконання запланованих управлінських рішень щодо забезпечення ПБ об'єкта захисту та контролювання їх виконання.

Організація виконання управлінських рішень щодо забезпечення ПБ об'єкта захисту здійснюється шляхом комунікації, тобто передачі інформації від суб'єкта управління до особи, яка повинна виконати це рішення.

Для ефективного функціонування системи управління ПБ об'єкту захисту має бути організована, на плановій основі, взаємодія з зовнішніми суб'єктами, що впливають на забезпечення ПБ об'єкту захисту (етапи Е та Е1, рисунок 3).



Умовні позначки:

етап А – обстеження протипожежного стану об'єкта захисту;

етап Б – передавання інформації суб'єкту управління щодо протипожежного стану об'єкта захисту;

етап В – аналізування та оцінювання протипожежного стану об’єкта захисту;

етап Г – прийняття управлінських рішень щодо забезпечення ПБ об'єкта захисту;

етап Д – організація виконання запланованих управлінських рішень щодо забезпечення ПБ об'єкта та контролювання їх виконання;

етапи Е та Е1 – спільні дії із зовнішніми суб'єктами, що впливають на забезпечення ПБ об'єкта захисту

Рисунок 3 – Загальна схема функціонування СУПБ

Висновки. За результатами проведених досліджень сформульовані такі висновки:

1. На підставі аналізу статистичних даних про пожежі, їх причин та наслідки на підприємствах, організаціях і закладах визначено, що значною мірою вони пов'язані з недосконалою організаційно-управлінською діяльністю суб'єктів господарювання щодо забезпечення ПБ об'єкта.

2. Вперше встановлені терміни та визначення понять, які характеризують систему

управління пожежною безпекою, а саме: суб'єкт управління пожежною безпекою об'єкта захисту, об'єкт управління пожежною безпекою об'єкта захисту, управління пожежною безпекою об'єкта захисту, оцінка протипожежного стану об'єкта захисту та управлінські заходи щодо забезпечення пожежної безпеки об'єкта захисту.

3. На основі аналізу законодавчих, нормативно-правових актів та нормативних документів, чинних в Україні, розроблено

організаційну структуру системи управління пожежною безпекою об'єкта захисту, яка включає індивідуальні суб'єкти управління пожежною безпекою (власник об'єкта, керівники різних рівнів, посадові особи, призначені відповідальними за пожежну безпеку) та колективні суб'єкти управління (служби пожежної безпеки, місцеві комісії з питань надзвичайних ситуацій, підрозділи відомчої та добровільної пожежної охорони).

4. Визначено, що організаційна структура системи управління пожежної безпеки об'єкта захисту залежить від його особливостей, а саме: існуючої організаційно-штатної структури управління виробничою та іншою діяльністю об'єкта захисту, функціонального призначення об'єкта, кількості осіб, що працюють та/або перебувають на об'єкті, категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною

небезпекою, пожежної небезпеки технологічних процесів на об'єкті, пожежної небезпеки речовин та матеріалів, що перебувають на об'єкті.

5. Систематизовано процес управління пожежною безпекою об'єкта захисту, встановлено вимоги до функціонування системи управління пожежною безпекою об'єкта захисту та розроблено відповідну схему функціонування СУПБ, тобто алгоритм управління, який передбачає етапи: обстеження протипожежного стану об'єкта захисту; передачу інформації щодо протипожежного стану об'єкта суб'єкту управління пожежною безпекою; аналізування та оцінювання протипожежного стану об'єкта захисту; прийняття управлінських рішень; організацію та контроль їх виконання; спільні дії із зовнішніми суб'єктами, що впливають на забезпечення ПБ об'єкта захисту.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. М. Дубинин, В. Жуков Новое направление в противопожарном нормировании. Чего не видит пожарная наука? // Алгоритм безопасности. – С.-Петербург: № 4, 2014. – С. 94-97.
2. ГОСТ 12.1.004-91 ССБТ. Пожарная безопасность. Основные положения. – М.: ИПК Изд-во стандартов, 1996. – 86 с.
3. Ніжник В.В., Сізіков О.О., Довгошеєва Н.М., Голікова С.Ю. Аналітичні дослідження щодо удосконалення системи запобігання пожежної безпеки об'єктів // Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека. – К.: № 1 (5), 2018. – С. 50-55.
4. Звіт про науково-дослідну роботу Провести дослідження та обґрунтувати загальні вимоги пожежної безпеки до об'єктів різного призначення. – К.: УкрНДНЦ, 2017. – 565 с. - № РК 0117U001199.
5. ДСТУ 8828-2019 Пожежна безпека. Загальні положення. – К.: УкрНДНЦ, 2019. – 151 с.
6. ДСТУ ISO 9000:2015 (ISO 9000:2015, IDT). Системи управління якістю. Основні положення та словник термінів. К.: УкрНДНЦ, 2016. – 51 с.
7. ДСТУ ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015, IDT). Системи управління якістю. Вимоги. – К.: УкрНДНЦ, 2016. – 32 с.
8. ДСТУ ISO 22000:2007 Системи управління безпекою продуктів харчування. Вимоги та настанова щодо застосування (ISO 22000:2005, IDT). – К.: Держстандарт України, 2007. – 39 с.
9. ДСТУ ISO/IEC 27001:2015 Інформаційні технології. Методи захисту. Системи управління інформаційною безпекою. Вимоги (ISO/IEC 27001:2013; Cor 1:2014, IDT). – К.: УкрНДНЦ, 2016. – 22 с.
10. ДСТУ ISO 39001:2015 Системи управління безпекою дорожнього руху (БДР). Вимоги та настанова щодо застосування (ISO 39001:2012, IDT). – К.: УкрНДНЦ, 2016. – 36 с.
11. OHSAS 18001:2007 Occupational health and safety management systems – Requirement (Системи менеджмента охорони здоров'я и обеспечения безопасности труда. Требования). [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://iso-management.com/wp-content/uploads/2013/12/OHSAS-18001-2007-.pdf>
12. НАПБ А.01.001-2014 Правила пожежної безпеки в Україні.
13. ДБН В.2.5-56:2014 Системи протипожежного захисту. – К.: Міністерство України, 2015. – 133 с.
14. Господарчий Кодекс України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua>
15. Цивільний Кодекс України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua>
16. Кодекс цивільного захисту України [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua>

REFERENCES

1. M. Dubinin, V. Zhukov Novoe napravlenie v protivopozharnom normirovanii. Chego ne vidit pozharnaja nauka? // Algoritm bezopasnosti. – S.-Peterburg: № 4, 2014. – S. 94-97.
2. GOST 12.1.004-91 SSBT. Pozharnaja bezopasnost'. Osnovnye polozhenija. – M.: IPK Izd-vo standartov, 1996. – 86 s.
3. Nizhnik V.V., Sizikov O.O., Dovgosheeva N.M., Golikova S.Ju. Analitichni doslidzhennja shhodo udoskonalennja sistemi zapobigannja pozhezhnoï bezpeki ob'ektiv // Naukovij visnik: Civil'nij zahist ta pozhezhna bezpeka. – K.: № 1 (5), 2018. – S. 50-55.
4. Zvit pro naukovo-doslidnu robotu Provesti doslidzhennja ta obruntuvati zagal'ni vimogi pozhezhnoï bezpeki do ob'ektiv riznogo prznachennja. – K.: UkrNDICZ, 2017. – 565 s. - № RK 0117U001199.
5. DSTU 8828-2019 Pozhezhna bezpeka. Zagal'ni polozhennja. – K.: UkrNDNC, 2019. – 151 s.
6. DSTU ISO 9000:2015 (ISO 9000:2015, IDT). Sistemi upravlinnja jakistju. Osnovni polozhennja ta slovník terminiv. K.: UkrNDNC, 2016. – 51 s.
7. DSTU ISO 9001:2015 (ISO 9001:2015, IDT). Sistemi upravlinnja jakistju. Vimogi. – K.: UkrNDNC, 2016. – 32 s.
8. DSTU ISO 22000:2007 Sistemy upravlennja bezopasnost'ju pishhevyh produktov. Trebovanija k ljubym organizacijam pishhevoj cepi (ISO 22000:2005, IDT) – K.: Derzhstandart Ukraïni, 2007. – 39 s.
9. DSTU ISO/IES 27001:2015 Informacijni tehnologii. Metodi zahistu. Sistemi upravlinnja informacijnoju bezpekoju. Vimogi (ISO/IEC 27001:2013; Cor 1:2014, IDT). – K.: UkrNDNC, 2016. – 22 s.
10. DSTU ISO 39001:2015 Sistemi upravlinnja bezpekoju dorozhn'ogo ruhu (BDR). Vimogi ta nastanova shhodo zastosuvannja (ISO 39001:2012, IDT). – K.: UkrNDNC, 2016. – 36 s.
11. OHSAS 18001:2007 Occupational health and safety management systems – Requirement. URL: <http://iso-management.com/wp-content/uploads/2013/12/OHSAS-18001-2007-.pdf>
12. NAPB A.01.001-2014 Pravila pozhezhnoï bezpeki v Ukraïni.
13. DBN V.2.5-56:2014 Sistemi protipozhezhnogo zahistu. – K.: Minregion Ukraïni, 2015. – 133 s.
14. Gospodarchij Kodeks Ukraïni URL: <https://zakon.rada.gov.ua>
15. Civil'nij Kodeks Ukraïni [Elektronnij resurs]. – URL: <https://zakon.rada.gov.ua>
16. Kodeks civil'nogo zahistu Ukraïni URL: <https://zakon.rada.gov.ua>

SYSTEMATISATION OF THE MANAGEMENT PROCESS OF FIRE SAFETY FOR PROTECTED OBJECT

O. Sizikov, Cand. Of Sc. (Eng.), V. Nizhnyk Cand. Of Sc. (Eng.), Y. Ballo, Cand. Of Sc. (Eng.), S. Golikova, O. Savchenko

The Ukrainian Civil Protection Research Institute, Ukraine

KEYWORDS

the facility's fire safety management system, organizational and management measures, the entity of fire safety management, the facility management, the organizational structure, control algorithm

ANNOTATION

Results of researches are resulted as substantiation of the general provisions of the fire protection management system of the object of protection. For the first time, a series of terms and definitions have been developed to characterize and specify the individual elements of the facility's fire safety management system. Imperfection of existing approaches to existing organizational measures of fire safety at the object of protection is shown. Shown national and international experience in effective sales management influence management decisions using business management object protection that allows realizing on objects of different functions organizational requirements and technical requirements for fire prevention systems and complex fire protection. Studies of domestic and foreign studies have shown that effective management influence with the help of management decisions of the subjects of management allows to effectively implementing on the objects the technical requirements of the fire prevention system and fire protection system. The experience gained in the organization of the management system, the management decisions and the provisions for ensuring the fire safety of the object of protection should be systematized, and the algorithm for managing this process should be standardized. As a result of the conducted researches the organizational structure of the fire safety management system of the object was developed and requirements for its operation and control algorithm. The result of the work is the draft standard "Fire Safety Management System of the Object of Protection. General Provisions", which is to be approved by the order of the National standardization body of Ukraine and subsequently used by the central executive bodies, local self-government bodies, economic entities and bodies and units of the State Emergency Service of Ukraine.

СИСТЕМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССА УПРАВЛЕНИЯ ПОЖАРНОЙ БЕЗОПАСНОСТЬЮ ОБЪЕКТА ЗАЩИТЫ

А.А. Сизиков, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., В.В. Нижник, канд. техн. наук, ст. науч. сотр., Я.В. Балло, канд. техн. наук, С.Ю. Голикова, О.В. Савченко

Украинский научно-исследовательский институт гражданской защиты, Украина

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

система управления пожарной безопасностью объекта, организационно-управленческие мероприятия, субъект управления пожарной безопасностью объекта защиты, объект управления, организационная структура, алгоритм управления

АННОТАЦИЯ

Приведенные результаты исследований по обоснованию общих положений системы управления пожарной безопасностью объекта защиты. Впервые установлен ряд терминов и определений понятий, характеризующих и конкретизирующих отдельные элементы системы управления пожарной безопасностью объекта. Показано несовершенство существующих подходов относительно существующих организационных мер обеспечения пожарной безопасности на объекте защиты. Приведены отечественный и зарубежный опыт по эффективной реализации управленческого воздействия с помощью управленческих решений субъектов управления объекта защиты, что позволяет реализовывать на объектах различного функционального назначения организационные и технические требования к системе предотвращения пожара и комплекса противопожарной защиты. В результате проведенных исследований разработана организационная структура системы управления пожарной безопасностью объекта и установленные требования по ее функционированию и алгоритму управления

УДК 614.841.3

НОРМАТИВНО-ТЕХНІЧНІ АСПЕКТИ ЗАХИСНОЇ ДІЇ ФІЛЬТРІВ-ПОГЛИНАЧІВ, ЩО ЗАСТОСОВУЮТЬСЯ ДЛЯ КОЛЕКТИВНОГО ЗАХИСТУ

В.В. Коваленко, канд. техн. наук, с.н.с., А.С. Борисова, В.І. Кравченко, Р.В. Ліхновський*, канд. хім. наук

Український науково-дослідний інститут цивільного захисту, Україна

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 23.10.2019

Пройшла рецензування: 09.12.2019

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

колективний захист, фільтри-поглиначі, нормативні документи, захисна дія, поглинальна здатність, вимоги, методи визначення

АНОТАЦІЯ

Проаналізовано нормативні документи щодо фільтрів-поглиначів, що застосовуються для колективного захисту. Вивчено вимоги до захисної дії та методи її визначення. Означено нормативні документи, які дають комплексну оцінку захисній дії фільтра-поглинача на основі проведення випробувань з визначення поглинальної здатності (адсорбції), фізичних та хімічних характеристик імпрегнованого активованого вугілля. Порівняльний аналіз нормативних документів виявив низку розбіжностей між чинним нормативним документом України та документами інших країн. Показана необхідність розроблення нормативного документу щодо захисної дії фільтрів-поглиначів з врахуванням аспектів міжнародних документів у цьому питанні.

Постановка проблеми. Конструктивними елементами фільтр-вентиляційних установок, що застосовуються у захисних спорудах цивільного захисту є фільтри-поглиначі. Їх призначення – це очищення повітря від пилу, небезпечних хімічних і бойових отруйних, радіоактивних та біологічних речовин.

Станом на теперішній час в Україні споруди цивільного захисту з фільтр-вентиляційними установками укомплектовані фільтрами ФП-100, ФП-200, ФП-300, які здебільшого відпрацювали свій ресурс. Терміни перевірки, властивості та технічні характеристики, що перевіряються визначені нормативним документом [1]. В ході проведення перевірки необхідністю стає встановлення відповідності фільтрів-поглиначів вимогам нормативних документів.

Наразі чинним в Україні є нормативно-технічний документ [2], у якому встановлені вимоги до фільтрів-поглиначів, що застосовуються для колективного захисту. Однією з вимог є час захисної дії від небезпечних хімічних і бойових отруйних речовин. Захисна дія фільтра-поглинача обумовлена поглинальною здатністю шихти, якою заповнюють фільтр. Тобто, шихта як адсорбент повинна мати певні властивості і теж відповідати окремим вимогам для забезпечення захисної дії фільтра-поглинача і її протяжності у часовому вимірі.

Основою захисної дії фільтра-поглинача є фундаментальне явище фізичної хімії — адсорбція, зокрема, фізична і хемосорбція. Частково питання захисної дії з точки зору явища адсорбції порушено авторами у статті [3].

У цій статті лише слід зазначити, що час захисної дії обмежений і визначається до встановлення рівноваги адсорбція ↔ десорбція.

Мета роботи полягає у висвітленні необхідності розроблення нормативного документу на основі проведення аналізу чинних нормативних документів щодо вимог та методів визначення захисної дії фільтрів-поглиначів.

Аналіз нормативно-технічних документів. Як уже згадувалося вище, захисна дія фільтра фільтра-поглинача напряму залежить від властивостей шихти. У вищезазначеному [2] час захисної дії від небезпечних хімічних речовин в інтервалі заданих концентрацій наступний:

аміак ($0,1 \div 0,2$ мг/л) не менше 6 год;
фтористий водень ($0,01 \div 0,2$ мг/л) не менше 4 год;
сірководень ($0,1 \div 0,2$ мг/л) не менше 6 год;
синильна кислота ($0,1 \div 0,2$ мг/л) не менше 1,5 год;
формальдегід ($0,1 \div 0,2$ мг/л) не менше 4 год;
хлорціан ($0,1 \div 0,2$ мг/л) не менше 1 год;
діоксид сірки ($0,2 \div 0,3$ мг/л) не менше 6 год;
фосген ($0,2 \div 0,3$ мг/л) не менше 6 год;
хлор ($0,2 \div 0,3$ мг/л) не менше 4 год;
бензол ($0,1 \div 0,2$ мг/л) не менше 5 год.

Метод за яким можна визначати означені числові значення захисної дії у документі не наведено.

На теперішній час в Україні послуговуються документом [4] у якому функціональну придатність фільтрів-поглиначів запропоновано перевіряти органолептичним методом, пропускаючи крізь шар шихти етилмеркаптан. Перевірка цим методом проводиться для фільтрів які уже відпрацювали

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

свій термін експлуатації у захисних спорудах цивільного захисту. У випадку “проскоку” етилмеркаптану за фільтр, його необхідно замінити. Щодо нових фільтрів-поглиначів, які йдуть на заміну, то органолептичний метод не застосовується і вони мають відповідати вищезгаданим вимогам.

Науково-дослідною та інженерною командою Хіміко-біологічного центру США запропоновано визначати залишкову ємність адсорбенту методом газової хроматографії [5]. Сутність методу полягає у пропусканні суміші ацетону з повітрям крізь шар адсорбенту і фіксацією “проскоку” полум'яно-іонізаційним детектором. Шаром адсорбенту при проведенні визначення заповнюють циліндричну колонку і поміщають у термостат хроматографа. Колонка “на вхід” вмонтовується у лінію газу-носія, якою подається випробовувана газова суміш і “на вихід” до детектора. Метод відноситься до неруйнівних і застосовується для контролю фільтрів-поглиначів з метою визначення їх придатності та продовження строку експлуатації або заміни.

Аналіз чинних нормативних документів показав відсутність в Україні документу як такого, який би встановлював метод випробування визначення часу захисної дії.

Таблиця 1 — Вимоги щодо здатності до поглинання модельних речовин імпрегнованим активованим вугіллям

Модельна речовина	Здатність до поглинання (мг×хв/м³)	
	Активоване вугілля до погіршення адсорбції	Активоване вугілля після прискорення погіршення адсорбції
Диметилметилфосфонат	$>1200 \times 10^3$	$>1200 \times 10^3$
Хлорціан	$>200 \times 10^3$	$>100 \times 10^3$

Метод визначення поглинальної здатності полягає у пропусканні модельної речовини з заданою концентрацією у суміші з повітрям крізь фільтр або тестову колону до проскакування за шар адсорбенту. Фіксацію “проскоку” проводять індикаторним способом – зміна забарвлення індикаторного розчину

Позитивний висновок про функціональну придатність фільтрів-поглиначів надається тоді, коли одержані результати щодо поглинальної здатності відповідають вимогам з вищенаведеної табл. 1.

Крім поглинальної здатності, яка є визначає захисну дію, встановлено ряд інших вимог до шихти та матеріалу з якої її одержують.

Матеріалом для шихти слугує активоване вугілля з питомою поверхнею не менше

Останні нормативно-технічні документи щодо визначення часу захисної дії фільтрів-поглиначів датовані серединою 80-х років радянської епохи і втратили чинність. Окрім того, вони мають обмежений доступ. Зрозуміло, що проведення випробувань за всім переліком речовин викликає певні труднощі. Також при проведенні випробувань фільтрів слід зважати на існуючу заборону[] на використання окремих небезпечних речовин .

У чинному нормативному документі [6] сусідньої РФ, вимога щодо часу захисної дії фільтрів-поглиначів упущена. Можливо їй та методу визначення буде розроблено документ окремо.

Вивчення міжнародного досвіду з питання випробувань фільтрів-поглиначів з визначення часу захисної дії та властивостей шихти виявив чинний нормативний документ Ізраїлю [7]. Він передбачає проведення випробувань двома способами, один з яких — випробування фільтра-поглинача, інший — імпрегнованого активованого вугілля методом тестової колони. В обох випадках застосовуються модельні речовини — хлорціан і диметилметилфосфонат з визначенням поглинальної здатності. Поглинальну здатність оцінюють відповідно до заданих значень табл. 1.

900 м²/г. Площу питомої поверхні активованого вугілля визначають методом Брунауера, Еммета і Теллера [8]. Метод полягає у низькотемпературній ад(де)сорбції азоту при температурі. Методом низькотемпературної адсорбції-десорбції азоту визначають такі характеристики твердих тіл — питома поверхня, розподіл пор за розмірами та ін. Для визначення цих параметрів проводять реєстрацію рівноважної ізотерми адсорбції-десорбції азоту на поверхні досліджуваного матеріалу за температури рідкого азоту (77К). З отриманої ізотерми, із застосуванням теоретичних моделей, визначають текстурні характеристики досліджуваної поверхні.

Крім того, активоване вугілля просочують імпрегнантами — це солі міді, срібла, хрому,

цинку, молібдену. Також, додають наповнювач з заданими властивостями для триетилендіамін. Таким чином, одержують фільтра-поглинач (табл. 2).

Таблиця 2 — Вимоги та методи випробувань до активованого вугілля

Властивість	Вимоги		Метод випробування
	min	max	
Вміст води у вугіллі після завершення процесу виготовлення фільтра, % мас.	–	5,0	1
Щільність у накопичувачі, г/см ³	0,45	0,65	2
Твердість, %	85	–	3
Концентрацію аміаку в потоці повітря, що виходить, мг/л повітря/100 см ³ вугілля	–	0,005	4
Вміст міді, % мас.	–	6,0	5
Вміст срібла, % мас.	0,03	–	6
Вміст хрому у перерахунку на CrO ₃ , % мас.	–	6,0	7
Вміст триетилендіаміну, % мас.	–	3,5	8
Вміст цинку, % мас.	–	6,0	9
Вміст молібдену, % мас.	–	2,5	10

Вміст металів у імпрегнованому активованому вугіллі визначають методом атомно-абсорбційної спектроскопії. Методично визначення викладені у нижченаведених зносках. Застосуванню методу атомно-абсорбційної спектроскопії присвячено книгу [9], яку можна використати при розробленні методик з визначення металів у різних матеріалах.

Специфікація [10] затверджена для використання в хіміко-біологічному центрі армії США Edgewood, департаментом армії і доступна для використання всіма підрозділами та відомствами Міністерства оборони.

Метод визначення часу адсорбції полягає у пропусканні з заданою швидкістю потоку нижченаведених модельних речовин з певною концентрацією у суміші з повітрям крізь

адсорбційну комірку, заповнену шихтою, до проскакування за шар адсорбента.

Активоване вугілля повинне відповідати вимогам до часу сорбції газу при заданих концентраціях, (мг/м³):

цианістого водню – 4000,
хлоріану – 4000,
фосгену – 20000,
диметилметилфосфонату – 3000.

Позитивний висновок про функціональну придатність фільтрів-поглиначів надається тоді, коли одержані результати щодо часу адсорбції відповідають вимогам таблиці 3.

Також, у цьому ж нормативному документі США — MIL-DTL-32101 [10] пред'являються наступні вимоги до імпрегнованого активованого вугілля (табл. 4).

- 1 ASTM D-2867-2004 Standard Test Methods for Moisture in Activated Carbon from SAI Global.
- 2 ASTM D2854 - 96(2000) Standard Test Method for Apparent Density of Activated Carbon.
- 3 ASTM D3802 – 79(1999) Standard Test Method for Ball-Pan Hardness of Activated Carbon.
- 4 IM-136-300-34-B-1965 InstructionManual for Installation, Operation, and Maintenance of Apparatus, Agent Testing, Ammonia Content inCharcoal, Q3 або еквівалентним методом
- 5 EA-C-1704, "Carbon, Activated, Impregnated, Copper - Silver-Zinc-Molybdenum-Triethylenediamine (ASZM-TEDA)," U.S. Army Edgewood Research, Development and Engineering Center (ERDEC), Aberdeen Proving Grounds, Maryland, January 1992.
- 6 Там само.
- 7 Там само.
- 8 Там само.
- 9 EA-DTL-1704 Carbon, Activated, Impregnated, Copper – Silver – Zinc – Molybdenum – Triethylenediamine (ASZM-TEDA)
- 10 Там само.

Таблиця 3 — Вимоги до часу сорбції газу (хв).

Модельна речовина	Свіже активоване вугілля, min	Свіже активоване вугілля, max	Активоване вугілля після старіння, min	Активоване вугілля після старіння, max
Цианістий водень	26	28	—	—
Хлорціан	44	55	39	45
Фосген	19	25	—	—
Диметилметилфосфонат	175	—	—	—

Таблиця 4 — Хімічні та фізичні характеристики вугілля.

Характеристика	Вимоги	
	min	max
Вміст води, % мас	—	2,5
Удавана (об'ємна) щільність, г / мл	—	0,68
Твердість, %	85	—
Аміак в мг/л повітря/100 мл вугілля	—	0,001
Вміст міді, % мас.	—	6,0
Вміст срібла, % мас.	0,03	0,1
Вміст цинку, % мас.	—	6,0
Вміст молібдену, % мас.	—	2,5
Вміст TEDA, % мас.	—	3,5

Посилання на методи за якими визначаються показники наводяться у цьому ж нормативному документі і ідентичні вказаним у зносках таблиці 2.

Також у MIL-DTL-32101 встановлені вимоги по гранулометричному складу шихти

(табл.5), чого не має у Стандарті Ізраїлю SI 4570 part 3.

Гранулометричний склад відіграє роль у формуванні поверхні пористого тіла та впливає на проникність модельної газоповітряної суміші крізь шар шихти

Таблиця 5 — Розподіл гранул за розмірами

Розмір частинок	% мас від вихідного зразка
Пройшли крізь сито з розміром чарунок 2,36 мм	100
Затримано на ситі з розміром чарунок 1,70 мм	0 — 2
Затримано на ситі з розміром чарунок 1,18 мм	10 — 30
Затримано на ситі з розміром чарунок 850 мкм	40 — 65
Затримано на ситі з розміром чарунок 600 мкм	10 — 35
Пройшли крізь сито з розміром чарунок 600 мкм	2,8 (max)*
Пройшли крізь сито з розміром чарунок 212 мкм	0,3 (max)

* Містить частинки, що проходять крізь сито з розміром чарунок 212 мкм

Зважаючи на розглянуті положення нормативних документів можна стверджувати, що у документах SI 4570 частина 3 і MIL-DTL-32101 подано комплексний підхід з оцінювання поглинальної здатності фільтра. Зокрема, наведені методи з визначення поглинальної здатності (часу адсорбції) при заданих концентраціях модельних речовин, змістовно

подано опис проведення випробувань. В обох документах реалізовано метод випробувань, що базується на адсорбційному методі очищення газу, сутність якого полягає у пропусканні шкідливих домішок у суміші з газом (повітрям) крізь тверді речовини, які здатні селективно вилучати та концентрувати на поверхні внутрішніх пор шкідливі компоненти. Також у

документах подано зноски на методи визначення імпрегнантів активованого вугілля. Наявність і кількість імпрегнантів у шихті — важливі характеристики з точки зору забезпечення очищення повітря процесом хемосорбції. Необхідна вимога щодо питомої площі поверхні активованого вугілля, що застосовується для одержання шихти, та метод її визначення показує, що ключову роль у поглинальній здатності відіграє поверхня матеріалу. Розвинута внутрішня капілярно-пориста структура активованого вугілля забезпечує очищення повітря за рахунок процесу фізичної адсорбції.

У документі MIL-DTL-32101 встановлені вимоги до гранулометричного складу шихти, від якого відомо залежить величина питомої площі поверхні та проникність газу крізь шар адсорбенту. Також цей документ можна вважати більш жорсткішим за вимогами щодо адсорбції ніж SI 4570 частина 3 через застосування у випробуваннях чотирьох модельних речовин проти двох у стандарті Ізраїлю. Доцільність використання більшої кількості модельних речовин можна пояснити індивідуальною поглинальною здатністю адсорбенту до окремо взятої речовини, а отже такий підхід у

проведенні випробувань формуватиме більш цілісну картину поглинальної здатності шихти — захисної дії фільтра-поглинача від небезпечних речовин.

Висновки. Аналіз нормативних документів виявив розбіжності у вимогах щодо захисної дії фільтрів-поглиначів чинного в Україні нормативного документу та документів інших країн. Заявлені у СОУ МНС 75.2-00013528-004:2010 вимоги щодо захисної дії фільтрів-поглиначів від небезпечних хімічних речовин передбачають громіздку і рутинну роботу з великою кількістю випробувань. Крім того, у документі не прописано умови проведення подібних випробувань та методу.

Зважаючи на міжнародний досвід з питання визначення захисної дії фільтрів-поглиначів, розроблення свого нормативного документу очевидна. Наявність такого документу дозволить оцінювати функціональну придатність фільтрів-поглиначів до застосування у захисних спорудах цивільного захисту із застосуванням стандартизованого методу випробувань та оцінювати відповідність вимогам, прийнятими на теперішній час у міжнародній практиці.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Вимоги щодо утримання та експлуатації захисних споруд цивільного захисту. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0879-18>
2. СОУ МНС 75.2-00013528-004:2010 Безпека у надзвичайних ситуаціях. Засоби очищення повітря захисних споруд цивільного захисту (цивільної оборони). Класифікація й загальні технічні вимоги. Київ, МНС України, 2010, 8 с.
3. В.В. Коваленко А.С.Борисова І.М. Плюта Р.В.Ліхнівський Адсорбція як основа захисної дії фільтрів-поглиначів. Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека № 2 (6), 2018, С. 59-63.
4. Інструкція щодо утримання захисних споруд цивільної оборони у мирний час (наказ МНС України від 09.10.2006 №653, зареєстровано у Мін'юсті України від 02.11.2006 №1180/10054).
5. ECBC-TR-622. Residual life indicator for physical adsorption capacity of NBC filters. Part I. Acetone vapor pulses and the effect of moisture content on retention characteristics. Edgewood, Chemical biological center, U.S.Army research, development and engineering comand, 2008, 21 с.
6. Безопасность в чрезвычайных ситуациях. Средства защиты коллективные. Устройства очистки воздуха фильтрующие. Общие технические требования. Методы испытаний. Москва, Стандартинформ, 2018, 12 с.
7. Стандарт Ізраїлю 4570 частина 3 Системи вентиляції та фільтрації повітря у бомбосховищах (захисних спорудах): фільтри. Інститут стандартів Ізраїлю, 2009, 23 с.
8. ДСТУ ISO 9277:2015 Визначення питомої площі поверхні твердих часток за допомогою адсорбції газу. Метод Брунауера, Еммета і Теллера (метод BET) (ISO 9277:2010, IDT) Дата початку дії 01.07.2016.
9. В. Прайс. Аналитическая атомно-абсорбционная спектроскопия //Перевод с англ. под. Ред Львова Б.В. / Изд.Мир, Москва, 1976- 358 с.
10. MIL-DTL-32101 Detail specification carbon, activated, impregnated, copper –silver – zinc –molybdenum – triethylenediamine (ASZM–TEDA), 19 September 2002, 14с.
3. V.V. Kovalenko A.S.Borisova I.M. Pljuta R.V.Lihn'ovs'kij Adsorbciya jak osnova zahisnoi dii fil'triv-poglinachiv. Naukovij visnik: Civil'nij zahist ta pozhezhna bezpeka № 2 (6), 2018, S. 59-63.
4. Instrukcija shhodo utrimannja zahisnih sporud civil'noi obroni u mirnij chas (nakaz MNS Ukraïni vid 09.10.2006 №653, zareestrovano u Min'justi Ukraïni vid 02.11.2006 №1180/10054).
5. ECBC-TR-622. Residual life indicator for physical adsorption capacity of NBC filters. Part I. Acetone vapor

REFERENCES

1. Vimogi shhodo utrimannja ta ekspluatatsii zahisnih sporud civil'nogo zahistu. <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0879-18>
2. SOU MNS 75.2-00013528-004:2010 Bezpeka u nadzvichajnih situacijah. Zasobi ochishhennja povitrja zahisnih sporud civil'nogo zahistu (civil'noi obroni). Klasifikacija j zagal'ni tehniczni vimogi. Kiïv, MNS Ukraïni, 2010, 8 s.

- pulses and the effect of moisture content on retention characteristics. Edgewood, Chemical biological center, U.S.Army research, development and engineering comand, 2008, 21 c.
6. Bezopasnost' v chrezvychajnyh situacijah. Sredstva zashhity kollektivnye. Ustrojstva ochistki vozduha fil'trujushhie. Obshhie tehicheskie trebovanija. Metody ispytanj. Moskva, Standartinform, 2018, 12 s.
 7. Standart Izraïlju 4570 chastina 3 Sistemi ventiljacii ta fil'tracii povitrja u bomboshovishhah (zahisnih sporudah): fil'tri. Institut standartiv Izraïlju, 2009, 23 s.
 8. DSTU ISO 9277:2015 Viznachennja pitomoï ploshhi poverhni tverdi chastok za dopomogoju adsorbicii gazu. Metod Brunauera, Emmeta i Tellera (metod VET) (ISO 9277:2010, IDT) Data pochatku dii 01.07.2016.
 9. V. Prajs. Analiticheskaja atomno-absorbcionnaja spektroskopija //Perevod s angl. pod. Red L'vova B.V. / Izd.Mir, Moskva, 1976- 358 s.
 10. MIL-DTL-32101 Detail specification carbon, activated, impregnated, copper –silver – zinc –molybdenum – triethylenediamine (ASZM–TEDA), 19 September 2002, 14c.

NORMATIVE AND TECHNICAL ASPECTS OF THE PROTECTIVE ACTION OF THE FILTERS-ADSORBERS APPLICABLE FOR COLLECTIVE PROTECTION

V. Kovalenko, Cand. of Sc. (Eng.), A Borysova, V. Kravchenko, R. Likhnovskiy, Cand. of Sc. (Chem.)

The Ukrainian Civil Protection Research Institute, Ukraine

KEYWORDS

collective protection, filter-adsorbers, regulatory documents, protective action, absorption capacity requirements, methods of determination

ANNOTATION

Results of researches are resulted as substantiation of the general provisions of the fire protection management system of the object of protection. For the first time, a series of terms and definitions have been developed to characterize and specify the individual elements of the facility's fire safety management system. Imperfection of existing approaches to existing organizational measures of fire safety at the object of protection is shown. Shown national and international experience in effective sales management influence management decisions using business management object protection that allows realizing on objects of different functions organizational requirements and technical requirements for fire prevention systems and complex fire protection. Studies of domestic and foreign studies have shown that effective management influence with the help of management decisions of the subjects of management allows to effectively implementing on the objects the technical requirements of the fire prevention system and fire protection system. The experience gained in the organization of the management system, the management decisions and the provisions for ensuring the fire safety of the object of protection should be systematized, and the algorithm for managing this process should be standardized. As a result of the conducted researches the organizational structure of the fire safety management system of the object was developed and requirements for its operation and control algorithm. The result of the work is the draft standard "Fire Safety Management System of the Object of Protection. General Provisions", which is to be approved by the order of the National standardization body of Ukraine and subsequently used by the central executive bodies, local self-government bodies, economic entities and bodies and units of the State Emergency Service of Ukraine.

НОРМАТИВНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ АСПЕКТЫ ЗАЩИТНОГО ДЕЙСТВИЯ ФИЛЬТРОВ-ПОГЛОТИТЕЛЕЙ, ЧТО ПРИМЕНЯЮТСЯ ДЛЯ КОЛЛЕКТИВНОЙ ЗАЩИТЫ

В.В. Коваленко, канд. техн. наук, с.н.с., А.С. Борисова, В.І. Кравченко, Р.В. Лихневский, канд. хим. наук

Украинский научно-исследовательский институт гражданской защиты, Украина

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

коллективная защита, фильтры-поглотители, нормативные документы, защитное действие, поглотительная способность, требования, методы определения.

АННОТАЦИЯ

Проанализировано нормативные документы касательно фильтров-поглотителей, что применяются для коллективной защиты. Изучены требования к защитному действию и методы его определения. Обозначены нормативные документы, дающие комплексную оценку защитного действия фильтра-поглотителя на основании проведения испытаний по определению поглотительной способности (адсорбции), физических и химических характеристик импрегнированного активированного угля. Сравнительный анализ нормативных документов выявил череду критических разногласий между действующим нормативным документом Украины и документами других стран. Показана необходимость разработки нормативного документа, касательно защитного действия фильтров-поглотителей, учитывая аспекты международных нормативных документов в данном вопросе.

УДК 614.841.45

АНАЛІТИЧНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ МЕТОДІВ ОЦІНЮВАННЯ ВОГНЕСТІЙКОСТІ КАБЕЛЬНИХ ПРОХОДОК

С.В. Новак, канд. техн. наук, ст. наук. співроб., П.О. Іллюченко*,
В.О. Боровиков, канд. техн. наук, ст. наук. співроб., Н.А. Поворознюк
Український науково-дослідний інститут цивільного захисту, Україна

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 11.11.2019
Пройшла рецензування: 10.12.2019

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

вогнестійкість, кабель, кабельна проходка, клас вогнестійкості, опорна конструкція, оцінювання вогнестійкості, сфера розширеного застосування

АНОТАЦІЯ

Наведено результати аналітичного дослідження методів оцінювання вогнестійкості кабельних проходок, застосованих для їхньої європейської класифікації. Показано, що європейський підхід до оцінювання вогнестійкості кабельних проходок має особливості по відношенню до національних підходів, яка полягає в застосуванні двох методів, один з яких призначений для випробування кабельних проходок на вогнестійкість і визначення сфери прямого застосування результатів цього випробування і наведений в EN 1366-3, інший метод, наданий в EN 15882-3, – для визначення сфери розширеного застосування результатів цього випробування. Наведено особливості вищевказаних європейських методів та процедур оцінювання вогнестійкості кабельних проходок, застосованих для європейської класифікації, у порівнянні з методами і процедурами, які надано в національних стандартах, для подальшого встановлення їхньої придатності до використання на національному рівні.

Вступ. Кабельні проходки призначено для збереження вогнестійкості огорожувальних конструкцій (стін, перекриттів) в місцях проходження через них кабелів, а також засобів для їх прокладання, наприклад, кабельних лотків, драбин. Вогнестійкість кабельної проходки має бути не меншою ніж у огорожувальній конструкції з метою забезпечення виконання однієї з основних вимог пожежної безпеки до будівель щодо обмеження поширення вогню всередині будівлі [1 – 3].

Для оцінювання вогнестійкості кабельних проходок на європейському і національних рівнях застосовують низку стандартизованих методів. У цих методах мають місце відмінності в процедурах, які використовують під час цього оцінювання. Зокрема, це стосується конструктивних характеристик зразків кабельних проходок для випробування та засобів вимірювання температури. Такі відмінності можуть призводити до отримання результатів оцінювання вогнестійкості кабельних проходок, які відрізняються між собою. Тому, актуальним слід вважати дослідження, спрямовані на удосконалення і розвиток методів оцінювання вогнестійкості кабельних проходок, зокрема в частині підвищення достовірності отриманих результатів.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Кабельною проходкою є виріб або збірна будівельна конструкція, яка складається з ущільнювальних матеріалів, <https://doi.org/10.33269/nvcz.2019.2.57-66>

кабельних виробів та закладних деталей (труб, коробів, лотків тощо) і призначена для проходку кабелів (кабельних ліній) через стіни і перекриття [4].

Відповідно до європейського оцінювального документу EAD 350454-00-1104 [5] кабельні проходки призначено для проходження через них таких виробів і закладних деталей:

- кабелів та засобів для їхнього прокладання;
 - струмопровідних шин (у тому числі в кабельних коробах);
 - кабелепроводів, що мають клас A1 за реакцією на вогонь згідно з EN 13501-1 [6], температура плавлення або розкладання яких перевищує 1000°C (виготовлених, наприклад, зі сталі, чавуну, міді й сплавів з міді, сплавів з нікелю);
 - струмопровідних шин (без покриття), що мають клас A1 за реакцією на вогонь згідно з EN 13501-1 [6], температура плавлення або розкладання яких перевищує 1000°C. До цієї групи віднесено вищевказані струмопровідні шини з покриттям за умови, що загальний клас за реакцією на вогонь не нижчий за A2;
 - струмопровідних шин та кабелепроводів з класом A1 або A2 за реакцією на вогонь згідно з EN 13501-1 [6] з температурою плавлення або розкладання не вище ніж 1000°C (виготовлених, наприклад, зі свинцю, алюмінію та сплавів з алюмінію);
 - струмопровідних шин та кабелепроводів,
- *E-mail: illuchenko_p@undicz.dsns.gov.ua

не віднесених до класів А1 або А2 за реакцією на вогонь згідно з EN 13501-1 [6] (наприклад, виготовлених з термопластичного або термореактивного матеріалу), у тому числі з неоднорідних матеріалів, іменованих «пластиковими струмопровідними шинами» і «пластиковими кабелепроводами».

Конструкції кабельних проходок містять, зокрема, такі вироби і матеріали як панелі, кабельні муфти, мінераловатні плити, модульні системи (рисунк 1) [5].

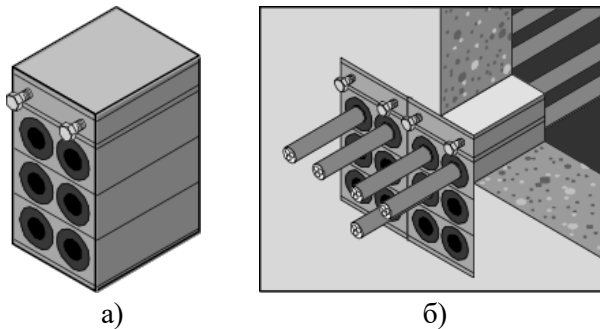


Рисунок 1 – Зображення модульної системи (а) і кабельної проходки через стіну із застосуванням модульної системи (б)

Для оцінювання вогнестійкості кабельних проходок застосовують як розрахункові методи, які засновані на положеннях будівельних єврокодів (зокрема, єврокоду 1 [7]), так і експериментальні методи. Використання розрахункових методів для цього оцінювання обмежено, зокрема, через відсутність достовірних даних щодо властивостей матеріалів, які входять до складу кабельних проходок.

Сутність експериментальних методів полягає в наступному. Зразок кабельної проходки встановлюють в опорну конструкцію вогневої печі. Для горизонтальних кабельних проходок в якості опорної конструкції застосовують стіну печі, виконану з різних будівельних матеріалів, для вертикальних – покриття печі. На необігрівну поверхню зразка кабельної проходки встановлюють термопари. У печі створюють стандартний температурний режим. Протягом певного часу вогневого впливу проводять вимірювання температури на необігрівній поверхні зразка кабельної проходки і визначають такі характеристики їхньої вогнестійкості, як цілісність (Е) і теплоізолювальна здатність (І).

Існує низка національних стандартів, які встановлюють експериментальні методи оцінювання вогнестійкості кабельних проходок. Зокрема, в Україні є чинним національний стандарт ДСТУ Б В.1.1-8 [4], в РФ – ГОСТ Р 53310 [8], в Німеччині – DIN 4102-9 [9], в США

– ASTM E814 [10]. У цих методах застосовують низку процедур, які однакові для всіх національних стандартів, наприклад, щодо створення стандартного температурного режиму в печі, і процедури, що мають суттєві відмінності. Зокрема, ці відмінності стосуються створення зразків кабельних проходок для випробування на вогнестійкість, розташування термопар на необігрівній поверхні цих зразків і граничних станів кабельних проходок за вогнестійкістю.

Так, в ДСТУ Б В.1.1-8 [4] встановлено, що мінімальні розміри зразка мають бути 600 мм х 300 мм (з фактичною товщиною проходки) і під час сертифікаційних випробувань ущільнювальних та вогнезахисних матеріалів у зразку мають бути використані кабелі марки АВВГ 4 х 185, марки АВВГ 3 х 120 + 1 х 70, а також пучок із 10 кабелів марки КВВГ 4 х 1,5. В ГОСТ Р 53310 [5] мінімальні розміри зразка складають 400 мм х 400 мм і визначені такі марки кабелів: ААШв 3 х 120-10, АВВГ 4 х 10-1 і пучок із 10 кабелів марки АКВВГ 14 х 2,5. Відмінності у конструктивних характеристиках кабелів можуть призводити до різних результатів оцінювання вогнестійкості кабельних проходок. При цьому зменшення перерізу жил кабелів може привести не тільки до підвищення теплоізолювальної здатності проходки, а й до її зниження [11].

Відповідно до [4, 9, 10] для вимірювання температури на необігрівній поверхні зразка термопари слід встановити на поверхні ущільнювального матеріалу на відстані 25 мм $\pm$ 5 мм від місць виходу кабелів з опорної конструкції печі, на поверхні закладної деталі на відстані 25 мм $\pm$ 5 мм від поверхні ущільнювального матеріалу, на поверхні оболонки або шару вогнезахисного покриття одиночного кабелю та на поверхні або шару вогнезахисного покриття пучка кабелів на відстані 25 мм $\pm$ 5 мм від поверхні ущільнювального матеріалу. В ГОСТ Р 53310 [8] визначено ті ж самі місця встановлення термопар, однак відстані не 25 мм $\pm$ 5 мм, а 5 мм $\pm$ 1 мм. Окрім зазначеного, у цьому стандарті встановлено додатковий граничний стан (Т) кабельних проходок за вогнестійкістю, яким є досягнення критичної температури нагрівання на необігрівній поверхні зразка, що складає:

а) для матеріалів оболонок кабелів:

- з полівінілхлориду 145°C;
- з гуми 120°C;
- з поліетилену 110°C;

б) для матеріалів конструктивних елементів з металу 145°C.

В ГОСТ Р 53310 [8] також застосовано класи вогнестійкості кабельних проходок (IET15...IET360), які відрізняються від тих, що наведені в інших національних стандартах (наприклад, в ДСТУ Б В.1.1-8 [4] це класи EI 15...EI 360).

Європейським комітетом із стандартизації CEN з метою уніфікації класів вогнестійкості будівельних виробів і будівельних конструкцій в країнах Євросоюзу (членах CEN) розроблено

європейський стандарт EN 13501-2 [12]. Класи вогнестійкості кабельних проходок, визначені в зазначеному стандарті, надано в таблиці 1. У цьому ж стандарті наведено, що для визначення класів вогнестійкості кабельних проходок їх потрібно випробовувати і оцінювати отримані результати цього випробування згідно з процедурами, поданими в EN 1366-3 [13] і EN 15882-3 [14].

Таблиця 1 – Класи вогнестійкості кабельних проходок відповідно до EN 13501-2 [12]

E	15	–	30	45	60	90	120	180	240
EI	15	20	30	45	60	90	120	180	240

Зазначена в EN 13501-2 [9] європейська класифікація кабельних проходок за вогнестійкістю можливо може бути ефективно застосовна і для національних класифікацій, в тому числі, і в Україні. Однак на підтвердження цього припущення не наведені відповідні результати досліджень. Тому є підстави вважати, що недостатня визначеність процедур оцінювання вогнестійкості кабельних проходок для європейської класифікації обумовлює проведення досліджень у цьому напрямку.

Мета і завдання дослідження. Метою дослідження є визначення і аналіз процедур оцінювання вогнестійкості кабельних проходок, призначених для проведення їхньої європейської класифікації за вогнестійкістю.

Для досягнення цієї мети були поставлені завдання щодо визначення особливостей методів оцінювання вогнестійкості кабельних проходок, застосованих для їхньої європейської класифікації, для подальшого встановлення придатності відповідних процедур цього оцінювання до застосування на національному рівні.

Метод і результати дослідження. Для дослідження застосовано аналітичний метод, який полягає у розгляданні й вивченні положень європейських стандартів, які призначені для проведення європейської класифікації кабельних проходок за вогнестійкістю.

Методи, які застосовні для європейської класифікації і встановлені в EN 1366-3 [13] та EN 15882-3 [14], призначені для оцінювання впливу проходок інженерних комунікацій на вогнестійкість огорожувальних конструкцій у разі їх перетинання однією або декількома інженерними комунікаціями, а також визначення сфер прямого та розширеного застосування результатів випробування ущільнювальних систем для проходок

інженерних комунікацій. Відповідно до цих стандартів проходкою інженерних комунікацій є система, яку використовують для збереження вогнестійкості огорожувальної конструкції в місці проходження через неї інженерних комунікацій, а інженерна комунікація – це система, наприклад, кабель, кабелепровід, трубопровід (з ізоляцією або без неї) або короб. Тобто, сфера застосування вищевказаних методів містить не тільки кабельні проходки, а й проходки, призначені для проходження через них трубопроводів.

Метод випробування, наведений в EN 1366-3 [13], призначений для оцінювання:

- впливу проходок інженерних комунікацій (далі – проходок) на цілісність і теплоізолювальну здатність відповідних огорожувальних конструкцій);
- цілісності й теплоізолювальної здатності проходки інженерних комунікацій;
- теплоізолювальної здатності закладної(их) деталі(ей), а за необхідності, також порушення цілісності інженерної комунікації.

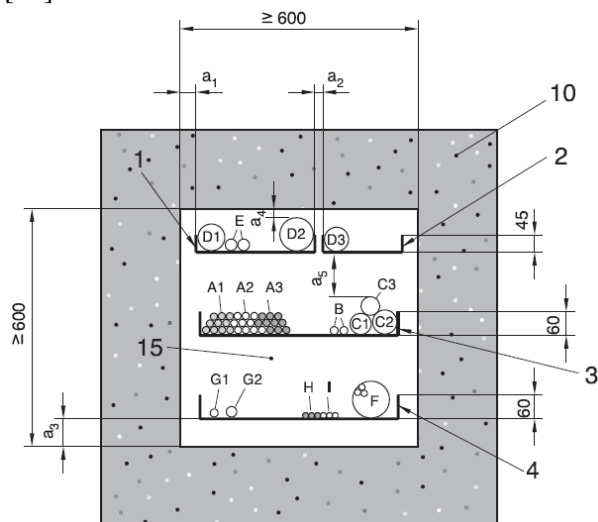
Це випробування не передбачає одержання інформації стосовно впливу проходок та ущільнювальних пристроїв, у разі їх передбачення у складі огорожувальних конструкцій, на несучу здатність цих конструкцій.

Умови нагрівання, газове середовище та тиск в печі під час випробування мають бути такими, як вказано в EN 1363-1 [15], зокрема температура в печі має змінюватися за стандартним температурним режимом.

Для горизонтальних огорожувальних конструкцій потрібен тільки один зразок для випробування, вогневий вплив на який здійснюють знизу. Якщо проходку інженерних комунікацій призначено для встановлення як у

перекриттях, так і в стінах, то її потрібно випробовувати у вертикальному і горизонтальному положеннях.

Зразок для випробування має цілком відповідати проходці, яку використовують на практиці, або мати стандартну конфігурацію, яку вважають такою, що покриває широкий діапазон видів застосування на практиці. В стандарті визначено стандартні конфігурації для кабельних проходок великих і невеликих розмірів, кабельних проходок із застосуванням модульних систем, кабельних муфт, струмопровідних шин, кабельних коробів і кабелепроводів. Наприклад, на рисунку 2 наведено стандартну конфігурацію для кабельних проходок великих розмірів. Зразки кабельних проходок у стінах і перекриттях для цієї конфігурації повинні мати висоту не менше ніж 600 мм і ширину не менше ніж 600 мм. Кабелі, які використовують в зразках, поділяють на групи згідно з таблицею А.1 EN 1366-3 [13].



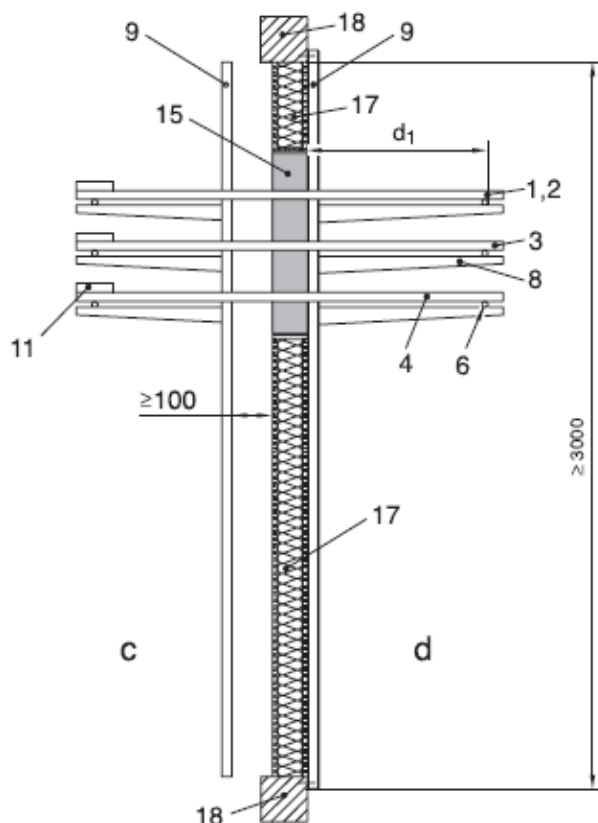
1 – сталеві драбини шириною 300 мм, товщина 1,25 мм; 2 – сталеві драбини шириною 200 мм, товщина 1,00 мм; 3 – перфорований сталевий лоток шириною 500 мм, товщина 1,5 мм; 4 – неперфорований сталевий лоток шириною 500 мм, товщина 1,5 мм; 10 – опорна конструкція; 15 – ущільнення проходки; А1, А2...G2 – кабелі згідно з таблицею А.1 EN 1366-3 [13]; Н, І – додаткові кабелепроводи/трубки згідно з таблицею А.2 EN 1366-3 [13]; $a_1, a_2...a_5$ – мінімальні робочі проміжки, вказані замовником випробування.

Рисунок 2 – Стандартна конфігурація для кабельних проходок великих розмірів

Передбачено декілька можливих варіантів стандартних конфігурацій для кабельних проходок залежно від їхньої передбачуваної сфери застосування. Конфігурацію «3 малими розмірами» поширюють на всі екрановані кабелі діаметром до 21 мм (кабелі 1 групи: А1, А2, А3, В за таблицею А.1 EN 1366-3). Конфігурацію «3 середніми розмірами» поширюють на екрановані кабелі діаметром до 50 мм (кабелі 1 групи та кабелі 2 групи: С1, С2, С3, Е). У разі використання конфігурації «3 великими розмірами» охоплюють багатожильні екрановані кабелі розміру до 4×185 і діаметром до 80 мм (кабелі 1 і 2 груп та кабелі 3 групи: D1, D2, D3). Додатково разом з однією з вищевказаних стандартних конфігурацій дозволено випробовувати пучки зв'язаних F-кабелів діаметром 100 мм (кабелі 4 групи), кабелі типу G1 та/або G2 (кабелі 5 групи) та/або кабелепроводи/трубки (інженерна комунікація Н, І, 6 група за таблицею А.2 EN 1366-3 [13]) для кабелів діаметром не більше ніж 16 мм. Конструктивні характеристики кабелів різних груп (їхній типорозмір, кількість у зразку для випробування тощо) для різних стандартних конфігурацій кабельних проходок наведені у відповідних розділах EN 1366-3 [13].

Кабелі потрібно закріплювати на стандартній підтримуючій конструкції, що має складатися з широкополічних двотаврових профілів, сталевих скоб, сталевих прутків, сталевих драбин і лотків, які показано на рисунку 3.

Зразок(ки) для випробування потрібно встановлювати в опорну конструкцію печі у спосіб, що відображає їхнє використання на практиці. Опорна конструкція може бути однією із стандартних конструкцій, або ж являти собою спеціальну конструкцію. Передбачено застосування жорстких і гнучких опорних конструкцій стін і перекриттів. Стандартні жорсткі опорні конструкції потрібно виготовляти з газобетонних плит, легкого бетону або бетону високої густини, їх товщина має визначатися відповідно до необхідного класу вогнестійкості згідно з таблицями, поданими в EN 1992-1-2 [16] для легкого бетону і бетону високої густини та в EN 1996-1-2 [17] для автоклавного газобетону. Стандартні гнучкі опорні конструкції складаються з профілів або поперечин, і до їх складу входять облицювання і додаткова теплоізоляція.



1 – сталеві драбини шириною 300 мм, товщина 1,25 мм; 2 – сталеві драбини шириною 200 мм, товщина 1,00 мм; 3 – перфорований сталевий лоток шириною 500 мм, товщина 1,5 мм; 4 – неперфорований сталевий лоток шириною 500 мм, товщина 1,5 мм; 6 – сталевий стрижень діаметром 20 мм, прикріплений до скоби і лотка на необігрівій поверхні; 8 – сталева скоба довжиною 500 мм; 9 – широкополічні двотаврові профілі (80 мм × 40 мм × 5 мм); 11 – баласт (сталева пластина); 15 – ущільнення проходки; 17 – легка перегородка (конструкція, виготовлена з металевого профілю, без зв'язку між опорною конструкцією та широкополічними двотавровими профілями); 18 – рама печі; с – обігрівна поверхня; d – необігрівна поверхня; d₁ – відстань від поверхні опорної конструкції до першої точки опори.

Рисунок 3 – Схема встановлення засобів під час випробування кабельних проходок в гнучких стінових конструкціях

Інженерну комунікацію потрібно встановлювати таким чином, щоб вона виступала принаймні на 500 мм з кожного боку опорної конструкції. До її опорних елементів потрібно прикладати механічне навантаження у вигляді баласту (сталевих пластин), як показано на рисунку 3.

В EN 1366-3 [13] надано також вимоги до кондиціонування зразків для випробування та встановлення засобів вимірювальної техніки, процедури оцінювання цілісності та

теплоізолювальної здатності зразків, визначення сфери прямого застосування результатів випробування. Зокрема, наведено, що для вимірювання температури в печі слід використовувати пластинчасті термометри, і якщо під час спроб скористатися бавовняним тампоном для оцінювання втрати цілісності згідно з EN 1363-1 [15] виникають труднощі через наявність у проходці інженерних комунікацій, прокладених з високою щільністю, то потрібно користуватися бавовняним тампоном зменшеного розміру. При оцінюванні цілісності й теплоізолювальної здатності зразка для випробування застосовують критерії, вказані в EN 1363-1 [15], за винятком того, що критерієм підвищення середньої температури не користуються. В процедурі визначення сфери прямого застосування визначено, що результати випробування застосовні тільки для орієнтації, за якої кабельні проходки було випробувано, тобто для їх встановлення у стіні або перекритті. Результати випробування, одержані з використанням жорстких стандартних опорних конструкцій, можуть бути застосовані до огорожувальних конструкцій, виконаних з бетону або кам'яної кладки, товщина і густина яких не нижчі за відповідні параметри опорної конструкції, використаної у випробуванні. Результати випробування, одержані з використанням стандартних гнучких стінових опорних конструкцій, застосовні до всіх гнучких стінових конструкцій з такою самою класифікацією за вогнестійкістю. Результати, одержані для стандартних кабельних драбин/лотків, поширюються на металеві лотки, температура плавлення матеріалу яких вища за температуру в печі в момент часу, що відповідає класифікації, тобто, це стосується, наприклад, нержавіючої та оцинкованої сталі. Результати випробування, одержані з використанням стандартних конфігурацій стіни і перекриття для кабельних проходок, дійсні для будь-якого розміру цих проходок (з огляду на лінійні розміри), який дорівнює або менший за розмір випробуваної проходки, за умови що загальна площа поперечного перерізу проходки не перевищує 60% від площі прорізу.

Європейський стандарт EN 15882-3 [14] надає принципи і настанови щодо складання документів, які встановлюють розширене застосування результатів випробування ущільнювальних систем для проходок інженерних комунікацій, проведеного згідно з EN 1366-3 [13]. Документ, який встановлює розширене застосування результатів випробування, є додатковим до сфери прямого

застосування, викладеної в EN 1366-3 [13], і може застосовуватись або ґрунтуватися на одному випробуванні або декількох випробуваннях, які забезпечують одержання інформації, необхідної для формулювання розширеного застосування.

У цей документ (протокол розширеного застосування) вводять зміни конструктивних характеристик для кожного типу ущільнювача, які стосуються такого:

- огорожувальної конструкції;
- типу закладної деталі;
- розміру закладної деталі;
- розміру та конфігурації ущільнювача.

В EN 15882-3 [14], зокрема, наведено правила про введення змін щодо конструктивних характеристик (діаметру, площі поперечного перерізу тощо) поодинокі прокладених кабелів і кабелів, які прокладені в пучках, кабельних коробів, кабелепроводів, струмопровідних шин.

Обговорення результатів дослідження.

Як впливає з результатів аналітичного дослідження, однією з особливостей європейського підходу до оцінювання вогнестійкості кабельних проходок, є застосування двох методів, один з яких призначений для випробування кабельних проходок на вогнестійкість і визначення сфери прямого застосування результатів цього випробування, інший – для визначення сфери розширеного застосування результатів цього випробування.

Метод випробування кабельних проходок, наведений в європейському стандарті EN 1366-3 [13], враховує велику кількість ситуацій, що мають місце під час пожежі, за мінімальної кількості випробувань. Для більшості частин цього стандарту застосовано принцип, який полягає в тому, що сфера застосування обмежується тим, що було використано у випробуванні. Для забезпечення можливості розширення сфери застосування визначено стандартні конфігурації проходок і прийнято модульний підхід, з тим щоб можна було прийняти різні комбінації елементів стандартної конфігурації. При цьому розглядають проходки великих і невеликих розмірів, що не застосовано в національних стандартах.

Особливістю методу випробування за EN 1366-3 [13] є застосування в ньому процедури прикладання механічного навантаження до опорних елементів кабельної проходки у вигляді баласту (сталевих пластин). У розглянутих національних стандартах [4, 8 – 10] такої процедури не передбачено. Іншою

особливістю методу є поділ кабелів на декілька груп і використання стандартних конфігурацій кабелів, щоб забезпечити можливість випробування залежно від передбачуваної сфери застосування. Стосовно опорних конструкцій в методі випробування прийнято підхід, що передбачає задавання їхньої передбаченої стандартної конфігурації, щодо якої зроблено припущення, що вона є представницькою для інших подібних конструкцій (за умови, що їх класифіковано згідно з EN 13501-2 [12] і виконуються окремі інші обмеження). Зокрема, для гнучких стінових конструкцій базовою є стандартна конфігурація, визначена в EN 1363-1 [15], але з окремими змінами, наприклад, передбаченням стіни, оснащеної теплоізоляцією. В методі впроваджено також спеціальні стандартні конфігурації проходок невеликих розмірів, тобто виробів, з яких неможна виготовити проходку, розміри якої відповідають стандартній конфігурації великого розміру, для забезпечення можливості користування правилами щодо сфери застосування, які стосуються кабелів і кабельних муфт. Цим забезпечується можливість одержання більш широкої сфери застосування за меншої кількості випробувань. Також, особливістю цього метода є можливість випробування на вогнестійкість проходок інженерних комунікацій змішаного типу, які часто зустрічаються на практиці. Для спрощення побудови випробування було встановлено так званий «Стандартний модуль змішаного типу». Цей модуль передбачає вибирання кабелів з таблиці A.1 EN 1366-3 [13] і найбільших або таких, що мають найбільш критичні значення параметрів, трубопроводів.

Особливістю європейського стандарту EN 15882-3 [14] є те, що він надає загальні настанови щодо ймовірних наслідків зміни конструктивних характеристик для кожного типу ущільнювача, але не надає настанов щодо величини цих наслідків і того, як цю величину визначають. Відсутні національні стандарти, аналогічні за призначенням до EN 15882-3 [14].

Висновки. Проведеним дослідженням встановлено, що особливістю європейського підходу до оцінювання вогнестійкості кабельних проходок є застосування двох методів, один з яких призначений для випробування кабельних проходок на вогнестійкість і визначення сфери прямого застосування результатів цього випробування і наведений в EN 1366-3 [13], інший метод, наданий в EN 15882-3 [14], – для визначення

сфери розширеного застосування результатів цього випробування.

Визначено особливості вищевказаних методів та процедур оцінювання вогнестійкості кабельних проходок, застосованих для

європейської класифікації, у порівнянні з методами і процедурами, які наведені в національних стандартах, для подальшого встановлення їхньої придатності до використання на національному рівні.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Regulation (EU) № 305/2011 of the European Parliament and of the Council of 9 March 2011 laying down harmonized conditions for the marketing of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC (Регламент (ЄС) № 305/2011 Європейського Парламенту та Ради від 9 березня 2011 року що встановлює гармонізовані умови для розміщення на ринку будівельних виробів та скасовує Директиву Ради 89/106/ЄЕС). – OJ L 88, 4.4.2011. P. 5–43.
2. Технічний регламент будівельних виробів, будівель і споруд. – Офіційний вісник України, 2006 р., № 51, ст. 3415.
3. ДБН В.1.2-7:2008 Система забезпечення надійності та безпеки будівельних об'єктів. Основні вимоги до будівель і споруд. Пожежна безпека.
4. ДСТУ Б В.1.1-8:2003 Захист від пожежі. Кабельні проходки. Метод випробування на вогнестійкість.
5. EAD 350454-00-1104 Fire stopping and fire sealing products. Penetration seals (Матеріали та вироби для перешкодження проникненню вогню і вогнезахисного заповнення. Проходки інженерних комунікацій).
6. EN 13501-1:2018 Fire classification of construction products and building elements – Part 1: Classification using data from reaction to fire tests (Пожежна класифікація будівельних виробів і будівельних конструкцій. Частина 1. Класифікація за результатами випробувань щодо реакції на вогонь).
7. ДСТУ-Н Б EN 1991-1-2:2010 Єврокод 1. Дії на конструкції. Частина 1-2. Загальні дії. Дії на конструкції під час пожежі (EN 1991-1-2:2002, IDT).
8. ГОСТ Р 53310:2009 Проходки кабельные, вводы герметичные и проходки шинопроводов. Требования пожарной безопасности. Методы испытаний на огнестойкость (Проходки кабельні, вводи герметичні і проходки шинопроводів. Вимоги пожежної безпеки. Методи випробувань на вогнестійкість).
9. DIN 4102-9:1990 Fire behaviour of building materials and elements; seals for cable penetrations; concepts, requirements and testing (Поведінка будівельних матеріалів і конструкцій при пожежі. Терміни, вимоги і випробування кабельних проходок).
10. ASTM E814:13a(2017) Standard Test Method for Fire Tests of Penetration Firestop Systems (Стандартний метод вогневих випробувань систем проходок для перешкодження проникненню вогню).
11. Круковский П.Г. Обратные задачи теплопереноса (общий инженерный подход) – Киев: Институт технической теплофизики НАН Украины, 1996. – 218 с.
12. EN 13501-2:2016 Fire classification of construction products and building elements – Part 2: Classification using data from fire resistance tests, excluding ventilation services (Пожежна класифікація будівельних виробів і будівельних конструкцій. Частина 2. Класифікація за результатами випробувань на вогнестійкість, крім складників вентиляційних систем).
13. EN 1366-3:2009 Fire resistance tests for service installations – Part 3: Penetration seals (Випробування інженерних систем на вогнестійкість. Частина 3. Проходки інженерних комунікацій).
14. EN 15882-3:2009 Extended applications of results from fire resistance tests for service installations – Part 3: Penetration seals (Визначення сфери розширеного застосування результатів випробувань інженерних систем на вогнестійкість. Частина 3. Проходки інженерних комунікацій).
15. EN 1363-1:1999 Fire resistance tests – Part 1: General requirements (Випробування на вогнестійкість. Частина 1. Загальні вимоги).
16. EN 1992-1-2 Eurocode 2 – Design of concrete structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design (Єврокод 2. Проектування бетонних конструкцій. Частина 1-2. Загальні правила. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість).
17. EN 1996-1-2 Eurocode 6 – Design of masonry structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design (Єврокод 6. Проектування кам'яних конструкцій. Частина 1-2. Загальні правила. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість).

REFERENCES

1. Regulation (EU) № 305/2011 of the European Parliament and of the Council of 9 March 2011 laying down harmonized conditions for the marketing of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC (Reglament (ES) № 305/2011 Європейського Парламенту та Ради від 9 березня 2011 року щодо встановлення гармонізованих умов для розміщення на ринку будівельних виробів та скасування Директиви Ради 89/106/ЄЕС). – OJ L 88, 4.4.2011. P. 5–43.
2. Tehnichnij reglament budivel'nih virobiv, budivel' i sporud. – Офіційний вісник України, 2006 р., № 51, ст. 3415.
3. ДБН В.1.2-7:2008 Sistema zabezpechennja nadijnosti ta bezpeki budivel'nih ob'ektiv. Osnovni vimogi do budivel' i sporud. Pozhezna bezpeka.
4. DSTU B V.1.1-8:2003 Zahist vid pozhezhi. Kabel'ni prohodki. Metod viprobuvannja na vognestijkist'.
5. EAD 350454-00-1104 Fire stopping and fire sealing products. Penetration seals.
6. EN 13501-1:2018 Fire classification of construction products and building elements – Part 1: Classification using data from reaction to fire tests.
7. DSTU-N B EN 1991-1-2:2010 Evrokod 1. Diï na konstrukcii. Chastina 1-2. Zagal'ni diï. Diï na konstrukcii pid chas pozhezhi (EN 1991-1-2:2002, IDT).

8. GOST R 53310:2009 Prohodki kabel'nye, vvody germetichnye i prohody shinoprovodov. Trebovaniya pozharnoj bezopasnosti. Metody ispytaniy na ognestojkost'.
9. DIN 4102-9:1990 Fire behaviour of building materials and elements; seals for cable penetrations; concepts, requirements and testing.
10. ASTM E814:13a(2017) Standard Test Method for Fire Tests of Penetration Firestop Systems.
11. Krukovskij P.G. Obratnye zadachi teplomassoperenosa (obshhij inzhenernyj podhod) – Kiev: Institut tehniceskoy teplofiziki NAN Ukrainy, 1996. – 218 s.
12. EN 13501-2:2016 Fire classification of construction products and building elements – Part 2: Classification using data from fire resistance tests, excluding ventilation services.
13. EN 1366-3:2009 Fire resistance tests for service installations – Part 3: Penetration seals.
14. EN 15882-3:2009 Extended applications of results from fire resistance tests for service installations – Part 3: Penetration seals.
15. EN 1363-1:1999 Fire resistance tests – Part 1: General requirements.
16. EN 1992-1-2 Eurocode 2 – Design of concrete structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design .
17. EN 1996-1-2 Eurocode 6 – Design of masonry structures – Part 1-2: General rules – Structural fire design.

ANALYTICAL STUDY OF METHODS OF ASSESSMENT OF FIRE RESISTANCE OF CABLE PENETRATIONS

S. Novak, Cand. of Sc. (Eng.), Sen. St. Sc., P. Illyuchenko, V. Borovikov, Cand. of Sc. (Eng.), Sen. St. Sc., N. Povorozniuk

The Ukrainian Civil Protection Research Institute, Ukraine

KEYWORDS

assessment of fire resistance, cable, cable penetration, fire resistance, fire resistance class, extended scope, support structure

ANNOTATION

The results of the analytical study of methods of assessment of fire resistance of cable penetrations applicable to their European classification are presented. It is shown that the European approach to the assessment of the fire resistance of cable penetrations has a peculiarity with respect to national approaches. This feature consists in the application of two methods, one of which is intended to test cable penetrations for fire resistance and to determine the scope of direct application of the results of this test and is given in EN 1366-3, the other method is given in EN 15882-3 for the determination of the scope of extended use the results of this test. The features of the above European methods and procedures for evaluating the fire resistance of cable penetrations applicable to the European classification are compared with the methods and procedures set out in national standards. It is shown that the cable penetration test method described in EN 1366-3 takes into account a large number of situations that occur during a fire with a minimum of tests. This method applies the principle that the scope is limited to what was used in the test. To allow for the expansion of the scope, standard seam configurations have been defined and a modular approach has been adopted so that different combinations of standard configuration elements can be adopted. At the same time they consider large and small size penetrations, which are not applied in national standards. It is shown that the features of this test method are also the application of the procedure for applying mechanical load to the ballast (steel plate) support elements, as well as the separation of cables into several groups and the use of standard cable configurations to allow testing depending on the intended scope application. The method of determining the scope of extended application of test results has the peculiarity of providing general guidance on the likely consequences of design changes for each type of seal, but does not provide guidance on the magnitude of these effects and how this value is determined.

АНАЛИТИЧЕСКОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ МЕТОДОВ ОЦЕНИВАНИЯ ОГНЕСТОЙКОСТИ КАБЕЛЬНЫХ ПРОХОДОВ

С.В. Новак, канд. техн. наук, ст. научн. сотр., П.А. Иллюченко, В.А. Боровиков, канд. техн. наук, ст. научн. сотр., Н.А. Поворозник

Украинский научно-исследовательский институт гражданской защиты, Украина

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

кабель, кабельная проходка, огнестойкость, класс огнестойкости, опорная конструкция, оценивание огнестойкости, сфера расширенного применения

АННОТАЦИЯ

Приведены результаты аналитического исследования методов оценивания огнестойкости кабельных проходок, применимых для их европейской классификации. Показано, что европейский подход к оцениванию огнестойкости кабельных проходок имеет особенность по отношению к национальным подходам, которая заключается в использовании двух методов, один из которых предназначен для испытания кабельных проходок на огнестойкость и определения сферы прямого применения результатов этого испытания и приведен в EN 1366-3, другой метод, предоставленный в EN 15882-3, – для определения сферы расширенного применения результатов этого испытания. Приведены особенности вышеуказанных европейских методов и процедур оценивания огнестойкости кабельных проходок, применимых для европейской классификации, по сравнению с методами и процедурами, которые регламентированы в национальных стандартах. Показано, что метод испытания кабельных проходок, приведенный в EN 1366-3, учитывает большое количество ситуаций, имеющих место во время пожара, при минимальном количестве испытаний. В этом методе применен принцип, который заключается в том, что сфера применения ограничивается тем, что было использовано в испытании. Для

обеспечения возможности расширения сферы применения определены стандартные конфигурации проходок и принято модульный подход, с тем чтобы можно было принять различные комбинации элементов стандартной конфигурации. Метод определения сферы расширенного применения результатов испытания имеет особенность, которая заключается в том, что он предоставляет общие руководства относительно вероятных последствий изменения конструктивных характеристик для каждого типа заделки кабельной проходки, но не предоставляет руководства по величине этих последствий и того, как эту величину определяют.

УДК 614.841

АНАЛІЗ ПРОТИПОЖЕЖНИХ ЗАХОДІВ У КОНСТРУКЦІЯХ ЗОВНІШНІХ СТІН ІЗ ФАСАДНОЮ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЄЮ ТА ОПОРЯДЖЕННЯМ ШТУКАТУРКОЮ

Р.С. Яковчук^{1*}, канд. техн. наук, А.Д. Кузик¹, д-р. с.-г. наук, професор, О.С. Ємельяненко¹, канд. техн. наук, Т.М. Скоробагатько², А.І. Івануса¹, канд. техн. наук, О.В. Добростан², канд. техн. наук

¹Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна

²Український науково-дослідний інститут цивільного захисту, Україна

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 16.11.2019

Пройшла рецензування: 12.12.2019

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

теплоізоляція, пінополістирол, енергетична ефективність, термомодернізація будівлі, конструкція із фасадною теплоізоляцією з опорядженням штукатуркою, пожежа, протипожежний пояс, мінеральна вата, полімерна штукатурка

АНОТАЦІЯ

Метою роботи є аналіз протипожежних заходів у конструкціях зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією та опорядженням штукатуркою, а також аналіз особливостей їх облаштування, враховуючи досвід інших країн. Розглянуто та проаналізовано види, конструктивні особливості, призначення та функції протипожежних поясів та обрамлення віконних (дверних) прорізів, виконаних з негорючих матеріалів, які влаштовуються в конструкціях зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією та опорядженням штукатуркою. Наголошено на значну роль протипожежних поясів та обрамлення віконних (дверних) прорізів із негорючих плит з мінеральної вати у забезпеченні пожежної безпеки будівельних об'єктів. Зроблено висновки про те, що в Україні на національному рівні в нормативних документах процедура облаштування протипожежних поясів та обрамлення навколо віконних та дверних прорізів недостатньо технічно описана (розкрита), що призводить до випадків неправильного трактування цих вимог або взагалі їх нехтування.

Вступ. Сучасна будівля – це складний комплекс різноманітних інженерних систем, конструкцій і матеріалів, до якого ставляться досить жорсткі вимоги, не лише такі традиційні, як стійкість до зовнішніх дій, естетичність та довговічність, але й нові, що відповідають сучасним уявленням про цілі та завдання будівництва. Серед них, перш за все, виділяють енергетичну ефективність, тобто властивість будівлі, її конструктивних елементів, а також інженерного обладнання забезпечувати протягом очікуваного життєвого циклу будівлі побутові потреби людини та оптимальні мікрокліматичні умови для її перебування та/або проживання у приміщеннях такої будівлі за нормативно допустимого (оптимального) рівня витрат енергетичних ресурсів на опалення, освітлення, вентиляцію, кондиціювання повітря, гаряче водопостачання з урахуванням місцевих кліматичних умов [1]. Вітчизняний та закордонний досвід показує, що пріоритетним і результативним напрямком підвищення енергоефективності будівлі є додатковий теплозахист огорожуючих конструкцій існуючих будівель [2].

Крім позитивних переваг, роботи з термомодернізації можуть збільшувати пожежну навантагу будинків, бо застосування горючого теплоізоляційного матеріалу (у будівельній галузі близько 80% – це пінополістирол) впливатиме на

пожежну небезпеку будівель із фасадною теплоізоляцією [3].

Одним з основних завдань під час будь-якої пожежі є запобігання поширенню вогню та обмеження поширення токсичних продуктів горіння. Для обмеження поширення пожежі в будинках, згідно [4, 5] проектують та встановлюють автоматичні системи протипожежного захисту (автоматичні системи пожежогасіння, системи пожежної сигналізації та протидимного захисту), протипожежні перешкоди, зони, відсіки, тамбур-шлюзи, пояси, розриви тощо. У конструкціях зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією з опорядженням штукатуркою, де в якості теплоізоляційного матеріалу використовують теплову ізоляцію групи низької горючості Г1 і групи помірної горючості Г2 (пінополістирол та ін.) та опоряджувальний шар із негорючих матеріалів та матеріалів групи низької горючості Г1, для будівель з умовною висотою до 26,5 м включно, обов'язково через кожних три поверхи виконують пояси теплової ізоляції із негорючих матеріалів (наприклад, з мінеральної вати) завширшки не менше, ніж дві товщини використаної ізоляції [6]. Такі протипожежні пояси облаштовують по всьому периметру будівлі, крім цього передбачають обрамлення віконних та балконних прорізів також із негорючих матеріалів.

Аналіз останніх досліджень та публікацій.

Застосування систем фасадної теплоізоляції не

лише покращує теплотехнічні показники огорожувальних конструкцій будівель, забезпечує їх енергетичну ефективність, сприяє вдосконаленню архітектурного вигляду будівель і споруд, але й підвищує їх пожежну небезпеку [7]. Дослідженням проблем пожежної безпеки систем фасадної теплоізоляції, в тому числі й навісних фасадних систем, присвячено низку досліджень [8–20].

В роботі [8] досліджено поширення полум'я поверхнею теплоізоляційних екструдованого пінополістиролу (XPS) та пінополіуретану. Під час проведення експерименту спостерігалися різні явища поширення полум'я, а швидкість виділення тепла використовувалася для аналізу інтенсивності горіння досліджуваних зразків. Висота полум'я представлена як функція виділення тепла (HRR), а також встановлений взаємозв'язок між висотою полум'я та загальним потоком тепла.

В роботах [9, 10] авторами також проводилися дослідження поширення полум'я поверхнею плит XPS. Проведено експерименти у лабораторних умовах, під час яких фіксувалися форма полум'я, швидкість поширення вогню, швидкість втрати маси та температура горіння зразків. Зроблено висновки щодо швидкості поширення полум'я, втрати маси, теплопровідності, теплового потоку, а також прискорення поширення полум'я поверхнею горючого теплоізоляційного матеріалу. Експериментальні результати, отримані авторами, узгоджувалися з теоретичним аналізом.

У [11] досліджувався вплив увігнутої структури конструкції фасаду будівлі на поширення полум'я поверхнею екструдованого пінополістиролу. Спостерігалось значне коливання фронту полум'я, при цьому увігнута структура конструкції фасаду сприяла поширенню вогню вгору. Швидкість поширення полум'я збільшується у 0,37 рази зі збільшенням коефіцієнта увігнутої структури фасаду від 0 до 1,6. Розкрито механізм дії увігнутої структури фасаду. Крім того, розроблено модель прогнозування, яка оцінює вплив увігнутої структури на характеристики поширення полум'я поверхнею XPS.

У роботі [12] автор досліджує можливості та шляхи швидкого прихованого поширення вогню в навісній фасадній системі в обхід протипожежних поясів. Такі приховані пожежі можуть поширюватися вертикально або горизонтально на великі та важкодоступні ділянки під облицюванням, тому запобігання поширення вогню у повітряних зазорах є надзвичайно важливим. Автор робить висновок, що

протипожежні перешкоди, які найбільш поширені й застосовуються в різних регіонах світу, не можуть в повному обсязі забезпечити запобігання поширення вогню і наголошує на необхідності стандартизації тестування протипожежних бар'єрів у вентильованих фасадних системах.

У роботі [13] представлені результати дослідження «ефекту балкону» на поширення вогню ззовні через вікна поверхнею фасадної системи на верхні поверхи. Для повномасштабних вогневих випробувань використано три конструкції будівлі: з вікнами без балкона; з балконом та вікнами однакової ширини; з балконом на один метр, ширшим за віконний проріз. Результати випробувань також порівняно з розрахунковими даними, отриманими за допомогою програмного забезпечення Fire Dynamics Simulator (FDS). Результатом дослідження є обґрунтування застосування конструкції будівлі з балконом на один метр, ширшим за віконний проріз, як найбільш ефективного для обмеження поширення вогню на розташовані вище поверхи.

Враховуючи великий об'єм досліджень вітчизняних та закордонних науковців, слід відзначити, що на даний час є досить мало праць про особливості влаштування протипожежних поясів з негорючих теплоізоляційних матеріалів у конструкціях зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією з опорядженням штукатуркою. Крім цього, актуальною науково-технічною задачею залишається розробка конструктивних рішень для обмеження поширення вогню поверхнею фасадної системи теплоізоляції з горючим утеплювачем з метою запобігання загибелі або травмування людей під час пожежі, а також мінімізації її наслідків.

Постановка проблеми і мета роботи.

Влаштування протипожежних поясів з негорючих плит з мінеральної вати у конструкціях зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією дають змогу обмежити поширення пожежі або, принаймні, зменшити швидкість поширення вогню поверхнею фасаду. Крім цього, обов'язковою вимогою є влаштування обрамлення навколо віконних та дверних прорізів з негорючих теплоізоляційних матеріалів. Такі протипожежні заходи здатні забезпечити цілісність систем фасадної теплоізоляції під час пожежі, тільки за умови правильного її технічного виконання. Використання для цих цілей горючих матеріалів, а також помилки під час проектування та облаштування, значно підвищують рівень пожежної небезпеки будівель із фасадною теплоізоляцією.

У національних нормативних документах процедура облаштування протипожежних поясів та обрамлення навколо віконних та дверних прорізів недостатньо технічно описана. Нерідко трапляються випадки, коли вимоги нормативних документів щодо влаштування систем фасадної теплоізоляції трактуються неправильно або ж взагалі ігноруються. Це може відбуватися через брак досвіду у виконавців, що здійснюють улаштування фасадів або ж через грубе нехтування ними правил пожежної безпеки з метою економії коштів під час будівництва. Тому за мету цієї роботи було поставлено проведення аналізу протипожежних заходів у конструкціях зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією та опорядженням штукатуркою, а також аналізу особливостей їх облаштування, враховуючи досвід інших країн.

Виклад основного матеріалу. Однією з найважливіших умов безпечного улаштування сучасних конструкцій зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією та опорядженням штукатуркою – є дотримання вимог пожежної безпеки, які викладені у нормативних документах та технічних умовах. Зокрема, це стосується й влаштування протипожежного пояса, як вузла фасадної системи на межі протипожежних відсіків.

В країнах ЄС прийнято положення, які визначають способи запобігання можливого поширення вогню під час пожежі в будівлях, які мають конструкцію зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією з опорядженням штукатуркою [21]. Ці положення зобов'язують влаштовувати протипожежні пояси із негорючих матеріалів під час виконання утеплення з горючих матеріалів або використовувати негорючий утеплювач у будівлях високого ступеня ризику, в яких проживає або перебуває велика кількість людей, не здатних самостійно евакуюватися у випадку виникнення пожежі (житлові будинки, лікарні, дитячі садки, школи, будинки для людей поважного віку або інші об'єкти з масовим перебуванням людей). Аналогічні вимоги прийняті у національних стандартах та будівельних нормах, які передбачають впровадження європейських вимог до енергомодернізації фасадів житлових будинків [6, 22].

Так, згідно з [6] у разі застосування у фасадній системі класу А (з опорядженням штукатуркою або дрібно штучними виробами) теплової ізоляції групи низької горючості Г1 і групи помірної горючості Г2 та опоряджувального шару із негорючих матеріалів, та матеріалів групи низької горючості Г1 для будівель з умовною висотою від 9 м до 26,5 м

включно, обов'язково необхідно передбачати пояси через кожні три поверхи та обрамлення віконних та балконних прорізів тепловою ізоляцією із негорючих матеріалів завширшки не менше ніж дві товщини використаної ізоляції.

Для фасадних систем класу Б (з опорядженням індустріальними елементами) з шаром теплової ізоляції із негорючих матеріалів, вимоги щодо улаштування протипожежних поясів, віконних та балконних прорізів відсутні.

Для фасадних систем класу В (з опорядженням прозорими елементами) у разі застосування теплової ізоляції групи низької горючості Г1 при умовній висоті будівлі більше ніж 9 м обов'язково виконують пояси через кожних три поверхи та обрамлення віконних та балконних прорізів тепловою ізоляцією із негорючих матеріалів завширшки не менше ніж дві товщини використаної ізоляції.

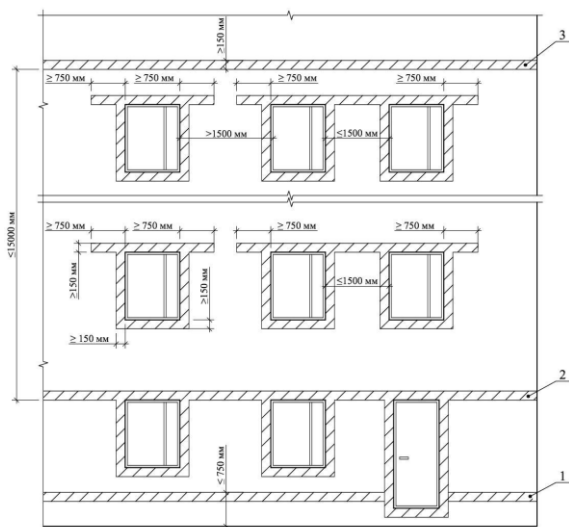
Разом з тим, у національних будівельних нормах не визначено необхідність облаштування дверних прорізів перших поверхів, внутрішніх кутів зовнішніх стін будівель, вертикальних меж протипожежних відсіків тощо.

У результаті пошуку інформаційних джерел, які містять дані про необхідність та особливості облаштування протипожежних поясів у будівлях, авторами статті проаналізовано методичний посібник [23]. У цьому посібнику наведено рекомендації щодо протипожежних заходів під час улаштування фасадних систем теплоізоляції із зовнішнім декоративно-захисним оздобленням, а також узагальнено та систематизовано інформацію про результати вогневих випробувань, проаналізовано фактори, які визначають умови безпечної експлуатації будівель, обладнаних системами фасадної теплоізоляції, а також наведено приклади конструктивних рішень фасадних систем та влаштування в них протипожежних поясів, які виконані із негорючих матеріалів. Крім того, в посібнику зазначено, що конструкції фасадних систем теплоізоляції, які застосовуються в будівлях, мають не поширювати вогонь поверхню, а проектування таких систем повинно виконуватися для конкретної будівлі з урахуванням особливостей об'ємно-планувальних і конструктивних рішень.

Відповідно для попередження масштабів пожеж фасадів із полімерними утеплювачами та опорядженням штукатуркою розглядають наступні спеціальні заходи [23]:

– по периметру віконних, балконних та вентиляційних прорізів облаштування протипожежних поясів із негорючих плит з мінеральної вати густиною не менше 120 кг/м³.

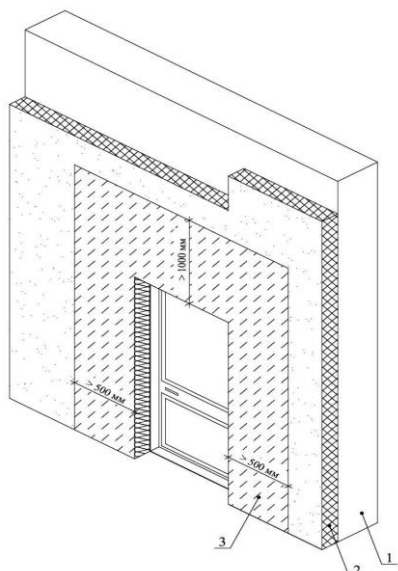
Ширина таких поясів повинна становити не менше 150 мм, висота (товщина) не менше загальної товщини плити, яка застосовується для утеплення (рис. 1);



1 – на рівні цокольного поверху; 2 – на 1-му поверсі;
3 – на наступних поверхах

Рисунок 1 – Схема облаштування протипожежних поясів по периметру будівлі та навколо віконних прорізів

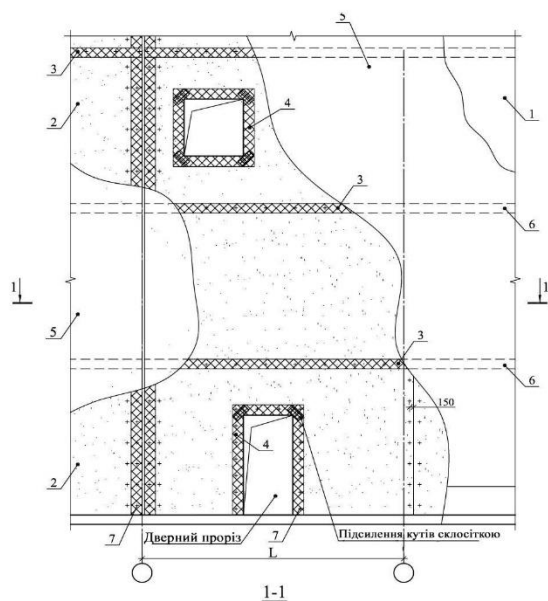
– облаштування відкосів із негорючих плит з мінеральної вати шириною не менше 1 м по периметру евакуаційних виходів з будівлі (рис. 2);



1 – несуча стіна; 2 – горюча теплоізоляційна плита;
3 – протипожежне обрамлення із негорючих матеріалів (мінеральної вати)

Рисунок 2 – Схема облаштування відкосів з мінеральної вати шириною не менше 1 м по периметру евакуаційного виходу з будівлі

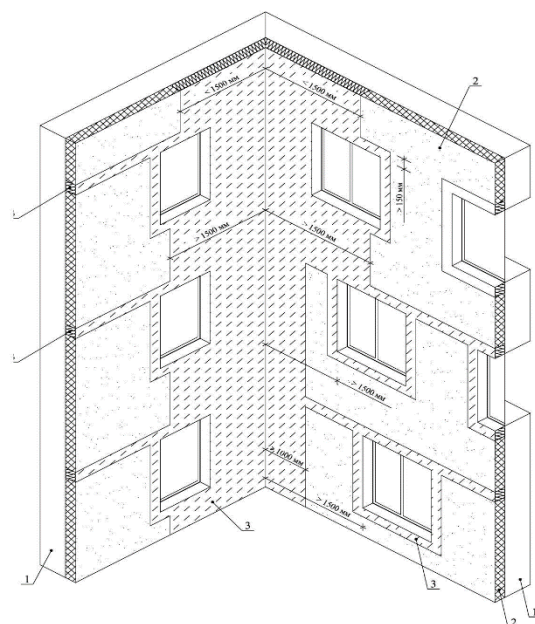
– облаштування по периметру фасаду будівлі горизонтальних і вертикальних протипожежних поясів із негорючих плит з мінеральної вати, як правило через кожні три поверхи (рис. 3);



1 – несуча стіна; 2 – горюча теплоізоляційна плита;
3 – протипожежні пояси із негорючих матеріалів (мінеральної вати); 4 – обрамлення віконних та дверних прорізів із негорючих матеріалів; 5 – зовнішній оздоблювально-захисний шар; 6 – плита перекриття; 7 – елементи кріплення теплоізоляційної плити (дюбеля)

Рисунок 3 – Схема облаштування горизонтальних та вертикальних протипожежних поясів системи фасадної теплоізоляції з горючим утеплювачем

– облаштування протипожежних поясів із застосуванням в якості утеплювача негорючих плит з мінеральної вати у внутрішніх кутах будівлі за наявності віконних прорізів (рис. 4);



1 – несуча стіна; 2 – утеплювач з горючого матеріалу; 3 – плита з негорючої мінеральної вати
Рисунок 4 – Схема облаштування протипожежних поясів у внутрішніх кутах будівлі за наявності віконних прорізів

Відповідно до [23] поверхові протипожежні пояси та обрамлення віконних (дверних) прорізів із негорючих плит з мінеральної вати відіграють важливу роль у забезпеченні пожежної безпеки будівлі, яка полягає в наступному:

– зазначені протипожежні пояси та обрамлення забезпечують кріплення оздоблювально-захисного шару штукатурки конструкції фасадної теплоізоляції будівлі під час теплової дії пожежі;

– наявність горизонтальних поверхових протипожежних поясів перешкоджає поширенню горючих газів, нагрітих до високих температур всередину системи теплоізоляції. Це виключає можливість процесу усадки пінополістиролу всередині фасадної системи;

– обрамлення віконного прорізу приміщення, з якого поширюється полум'ям, перешкоджає прогріванню пінополістиролу до температури початку термодеструкції, обмежуючи таким чином можливість потрапляння горючих газів у факел пожежі;

– протипожежні пояси та обрамлення віконних (дверних) прорізів з мінеральної вати забезпечують цілісність конструкцій зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією та опорядженням штукатуркою під час виникнення пожежі за умови правильного виконання робіт з їх облаштування.

Якщо ж в конструкції фасадної теплоізоляції з горючим утеплювачем не будуть передбачені

елементи з негорючої мінеральної вати, тоді пожежна небезпека таких конструкцій суттєво підвищується, особливо за умови використання в оздоблювально-захисному шарі полімерних штукатурок [23].

Перелічені вище протипожежні заходи, що передбачаються у конструкціях зовнішніх стін із фасадною горючою теплоізоляцією, перш за все призначені для забезпечення необхідного часу безпечної евакуації людей з будівлі, недопущення поширення пожежі на весь периметр будівлі та забезпечення безпечної роботи персоналу пожежно-рятувальних підрозділів [24].

Висновки. Визначено конструктивні параметри облаштування протипожежних поясів і обрамлення віконних та балконних прорізів, за якими забезпечується обмеження поширення вогню по фасаду будинків і споруд під час пожежі. Показано, що периметр будівлі, а також віконні, балконні та вентиляційні прорізи необхідно облаштовувати протипожежними поясами з негорючих плит з мінеральної вати завширшки не менше ніж дві товщини використаної теплової ізоляції, при чому їх облаштування може бути як горизонтальне так і вертикальне; периметр евакуаційних виходів з будівлі – поясами шириною не менше 1 м. Також необхідно облаштовувати зазначеними плитами внутрішні кути будівлі за наявності в них віконних та балконних прорізів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

- ДБН В.2.6-31:2016 Теплова ізоляція будівель. Вид. офіц. Київ: Державне підприємство «Укрархбудінформ». 2016. 37 с.
- Ратушняк О.Г. Управління змістом інноваційних проєктів термомодернізації будівель: Монографія. – Вінниця: УНІВЕРСУМ-Вінниця, 2010. – 114 с.
- Кузиляк В.Й., Яковчук Р.С., Веселівський Р.Б. Пожежна безпека використання пінополістиролу як теплоізоляційного матеріалу у будівництві. Пожежна безпека: Зб. наук. праць. 2016. (№27). С. 81-87.
- ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. Вид. офіц. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. 2016. 39 с.
- ДБН В.2.5-56:2014 Системи протипожежного захисту. Вид. офіц. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. 2015. 133 с.
- ДБН В.2.6-33:2018 Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Вимоги до проєктування. Вид. офіц. Київ: Державне підприємство «Укрархбудінформ». 2018. 22 с.
- Яковчук Р., Кузик А., Міллер О., Лин А. Теплоізоляційно-оздоблювальні системи фасадів будинків як фактор підвищеної пожежної безпеки. Пожежна безпека. 32 (Серп 2018), 80-89. <https://doi.org/https://doi.org/10.32447/20786662.32.2018.12>
- Hou, Yanan & Cheng, Xudong & Liu, Shenyong & Liu, Changcheng & Zhang, Heping. (2015). Experimental Study on upward Flame Spread of Exterior Wall Thermal Insulation Materials. Energy Procedia. 66. 161-164. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.02.085>
- Zhang, Y., Huang, X., Wang, Q., Ji, J., Sun, J., & Yin, Y. (2011). Experimental study on the characteristics of horizontal flame spread over XPS surface on plateau. Journal of Hazardous Materials, 189(1-2), 34-39. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.01.101>
- An, W. & Xiao, Huahua & Sun, Jinhua & Liew, K. & Yan, W. & Zhou, Y. & Jiang, Lin & Huang, Xinjie. (2014). Effects of Sample Width and Sidewalls on Downward Flame Spread over XPS Slabs. Fire Safety Science. 11. 234-247. DOI: 10.3801/IAFSS.FSS.11-234
- An, W., Sun, J., Liew, K. M., & Zhu, G. (2017). Effects of building concave structure on flame spread over extruded polystyrene thermal insulation material. Applied Thermal Engineering, 121, 802-809. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.04.141>
- Jensen G. Fire spread modes and performance of fire stops in vented facade constructions – overview and standardization of test methods // Matec web of conference 9. 2013. pp. 1-11. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20130902002>
- Morgado, H. and Rodrigues, J. (2015), "Balcony Effect on the External Fire Spread into Upper Floors", Journal of Structural Fire Engineering, Vol. 6 No. 4, pp. 255-274. <https://doi.org/10.1260/2040-2317.6.4.255>
- Sun, H., Pan, Y., Wang, J. H., Gong, J. H., Ding, A. P., & Jiang, J. C. (2018). Flame Spread Characteristics of Inclined Extruded Polystyrene Thermal Insulation Material. In Procedia Engineering (Vol. 211, pp. 651-658). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.12.060>

15. Suzanne, Mathieu & Ukleja, Sebastian & Delichatsios, M. & Zhang, Jianping & Karlsson, B.. (2014). Fundamental flame spread and toxicity evaluation of fire retarded polymers. *Fire Safety Science*, Vol. 11, 2014, p. 846-859. <https://doi.org/10.3801/IAFSS.FSS.11-846>
16. Косачев А.А. Анализ пожарной опасности навесных фасадных систем в реконструируемых зданиях // Пожаровзрывобезопасность. 2012. № 11 (21). С. 77-80.
17. Samar E. Y., Onokhov O.V., Holupova A.P. Fire safety study of buildings shed-governmental facades // *Far East: Problems Of Architectural Complex*. 2013. № 1. pp. 357-362.
18. Мешалкин Е.А. Пожарная безопасность навесных вентилируемых фасадов // Пожарная безопасность в строительстве. 2011. № 3. 40-47.
19. Молчадский И.С., Зигерн-Корн В.Н. Фасадные теплоизоляционные системы. Особенности пожарной опасности навесных систем с воздушным зазором // Пожарная безопасность. 2008. № 2. 56-60.
20. Ламкин О.Б., Гравит М.В., Недрышкин О.В. Экспериментальные и теоретические исследования

показателей пожарной опасности фасадной системы «Техноком» // СУЗИС. 2015. № 11 (38). С. 49-65.

21. M. J. Rukavina, M. Carević, I.P. Banjad. (2017). *Zaštita pročelja zgrada od požara - Priručnik za projektiranje i izvođenje*. 2017. 65 p.
22. ДСТУ Б В.2.6-36:2008 Конструкції будинків і споруд. Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією та опорядженням штукатурками. Загальні технічні умови. Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України. 2009. 35 с.
23. Противопожарные мероприятия при проектировании фасадных систем. (Методическое пособие). – М.: ФГБУ ВНИИПО МЧС России. 2017. 148 с.
24. Яковчук Р., Кузык А., Емельяненко С., Скоровагатько Т. Механізм поширення пожежі поверхнею конструкцій зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією з горючим утеплювачем та опорядженням штукатуркою. Пожежна безпека. 34 (Лип 2019), 96-103. <https://doi.org/https://doi.org/10.32447/20786662.34.2019.16>.

REFERENCES

1. DBN V.2.6-31:2016 Thermal insulation of buildings. (2016). Kiev: "Ukrarkhbudinform" (in Ukr.)
2. Ratushnyak O. (2010). Content management of innovative thermo-modernization projects for buildings: Monograph. 114 p.
3. Kuzyliak, V., Yakovchuk, R., & Veselivskyi, R. (2016). Fire risk of thermal insulation materials using in building industry. *Fire Safety*, 28, 81-87 (in Ukr.)
4. DBN V.1.1-7:2016 Fire safety objects of construction. General requirements. (2016). Kiev: Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine (in Ukr.)
5. DBN V.2.5-56:2014 Fire protection systems. (2014). Kiev: Ministry of Regional Development, Construction and Housing and Communal Services of Ukraine (in Ukr.)
6. DBN V.2.6-33:2018 Constructions of heat insulated external walls. Requirements for the designing. (2018). Kiev: "Ukrarkhbudinform" (in Ukr.)
7. Yakovchuk, R., Kuzyk, A., Miller, O., & Lyn, A. (2018). Heat insulation-apparatus systems of household facade as a factor of increased fire hazard. *Fire Safety*, (32), 80-89. <https://doi.org/https://doi.org/10.32447/20786662.32.2018.12>
8. Hou, Yanan & Cheng, Xudong & Liu, Shenyou & Liu, Changcheng & Zhang, Heping. (2015). Experimental Study on upward Flame Spread of Exterior Wall Thermal Insulation Materials. *Energy Procedia*. 66. 161-164. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2015.02.085>
9. Zhang, Y., Huang, X., Wang, Q., Ji, J., Sun, J., & Yin, Y. (2011). Experimental study on the characteristics of horizontal flame spread over XPS surface on plateau. *Journal of Hazardous Materials*, 189(1-2), 34-39. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2011.01.101>
10. An, W. & Xiao, Huahua & Sun, Jinhua & Liew, K. & Yan, W. & Zhou, Y. & Jiang, Lin & Huang, Xinjie. (2014). Effects of Sample Width and Sidewalls on Downward Flame Spread over XPS Slabs. *Fire Safety Science*. 11. 234-247. DOI: 10.3801/IAFSS.FSS.11-234
11. An, W., Sun, J., Liew, K. M., & Zhu, G. (2017). Effects of building concave structure on flame spread over extruded polystyrene thermal insulation material. *Applied Thermal Engineering*, 121, 802-809. <https://doi.org/10.1016/j.applthermaleng.2017.04.141>
12. Jensen G. Fire spread modes and performance of fire stops in vented facade constructions – overview and standardization of test methods // *Matec web of conference* 9. 2013. pp. 1-11. <https://doi.org/10.1051/mateconf/20130902002>

13. Morgado, H. and Rodrigues, J. (2015), "Balcony Effect on the External Fire Spread into Upper Floors", *Journal of Structural Fire Engineering*, Vol. 6 No. 4, pp. 255-274. <https://doi.org/10.1260/2040-2317.6.4.255>
14. Sun, H., Pan, Y., Wang, J. H., Gong, J. H., Ding, A. P., & Jiang, J. C. (2018). Flame Spread Characteristics of Inclined Extruded Polystyrene Thermal Insulation Material. In *Procedia Engineering* (Vol. 211, pp. 651-658). Elsevier Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.12.060>
15. Suzanne, Mathieu & Ukleja, Sebastian & Delichatsios, M. & Zhang, Jianping & Karlsson, B.. (2014). Fundamental flame spread and toxicity evaluation of fire retarded polymers. *Fire Safety Science*, Vol. 11, 2014, p. 846-859. <https://doi.org/10.3801/IAFSS.FSS.11-846>
16. Kosachev A. A. Analiz požarnoy opasnosti navesnykh fasadnykh sistem v rekonstruiyemykh zdaniyakh [Fire risk in SFS] // *Pozharovzryvobezопасnost*. 2012. № 11 (21). S. 77-80.
17. Samar E. Y., Onokhov O.V., Holupova A.P. Fire safety study of buildings shed-governmental facades // *Far East: Problems Of Architectural Complex*. 2013. № 1. pp. 357-362.
18. Meshalkin Ye. A. Pozharnaya bezopasnost navesnykh ventiliruyemykh fasadov // *Pozharnaya bezopasnost v stroitelstve*. 2011. № 3. 40-47.
19. Molchadskiy I. S., Ziger-Korn V. N. Fasadnyye teploizolyatsionnyye sistemy. Osobennosti požarnoy opasnosti navesnykh sistem s vozdushnym zazorom // *Pozharnaya bezopasnost*. 2008. № 2. 56-60.
20. Lamkin O. B., Gravit M. V., Nedryshkin O. V. Eksperimentalnyye i teoreticheskiye issledovaniya pokazateley požarnoy opasnosti fasadnoy sistemy «Tekhnokom» // *SUZIS*. 2015. № 11 (38). S. 49-65.
21. M. J. Rukavina, M. Carević, I.P. Banjad. (2017). *Zaštita pročelja zgrada od požara - Priručnik za projektiranje i izvođenje*. 2017. 65 p.
22. DSTU B V. 2.6-36:2008 Construction of buildings and structures. Construction of the external walls with facade insulations and plaster. General technical requirements (2009), Kiev: Minrehionbud (in Ukr.)
23. Fire-prevention measures in the design of facade systems (Toolkit). - М.: FSBI VNIPO EMERCOM of Russia. 2017. 148 p.
24. Yakovchuk, R., Kuzyk, A., Yemelyanenko, S., & Skorobagatko, T. (2019). Fire spread mechanism on surface of construction fit with façade heat insulation based on combustible insulant and finished with plaster. *Fire Safety*, (34), 96-103. <https://doi.org/https://doi.org/10.32447/20786662.34.2019.16>

ANALYSIS OF FIRE-FIGHTING MEASURES IN CONSTRUCTION OF EXTERIOR WALLS FIT WITH FAÇADE HEAT INSULATION AND FINISHED WITH PLASTER

R. Yakovchuk¹, Cand. of Sc., A. Kuzyk¹, Doct. of Sc., S. Yemelyanenko¹, Cand. of Sc., T. Skorobagatko², A. Ivanusa¹, Cand. of Sc., O. Dobrostan², Cand. of Sc.

¹Lviv State University of Life Safety, Ukraine

²The Ukrainian Civil Protection Research Institute, Ukraine

KEYWORDS

thermal insulation, polystyrene, energy efficiency, thermo-modernization of the building, construction with facade thermal insulation with plaster equipment, fire, fire zone, mineral wool, polymer plaster

ANNOTATION

The purpose of the work is to analyze fire prevention measures in structures of external walls with facade thermal insulation and plastering, as well as to analyze the features of their arrangement, taking into account the experience of neighboring countries. The application of exterior wall designs with facade thermal insulation with plaster finish, as well as problems related to their fire hazard, are substantiated. The works are analyzed to investigate the problems of fire safety of exterior wall structures with facade thermal insulation and plastering, as well as hinged facade systems. The types, design features, purpose and functions of fire belts and framing of window (door) openings made of non-combustible materials, which are arranged in exterior wall designs with facade thermal insulation and plaster finish, are considered and analyzed. The role of floor fire belts and the framing of window (door) openings made of non-combustible mineral wool boards have been established.

It is concluded that the use of structures of the exterior walls of residential buildings with facade thermal insulation with a combustible insulation and plastering significantly increases their level of fire danger. This danger will depend both on the properties of the individual materials (in particular the insulation), and on the design features of the entire thermal insulation system and the building as a whole. For plaster systems of thermal insulation of facades, the rapid spread of fire on the higher and lower floors of the building is a big threat. Frequent causes of fire of thermal insulation systems of external walls is the tipping of fire from a window opening of a building as a result of intense fire indoors. Materials of decorative and protective finishing of walls should meet requirements of normative documents on designs of external walls with facade thermal insulation and plaster finish, and their constructive execution will depend on the height of the building and functional purpose of the object. Fire-fighting measures, foreseeing in the construction of exterior walls with facade thermal insulation and plastering, intended to ensure their fire safety during the time necessary for the safe evacuation of people from the building, the arrival of units of fire and rescue units and extending the fire throughout its distribution.

АНАЛИЗ ПРОТИВОПОЖАРНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ В КОНСТРУКЦИЯХ ВНЕШНИХ СТЕН С ФАСАДНОЙ ТЕПЛОИЗОЛЯЦИЕЙ И ОТДЕЛКОЙ ШТУКАТУРКОЙ

Р.С. Яковчук¹, канд. техн. наук, А.Д. Кузык¹, д-р. сельскохозяйственных наук, профессор, А.С. Емельяненко¹, канд. техн. наук, Т.Н. Скоробагатько², А.И. Ивануса¹, канд. техн. наук, А.В. Добростан², канд. техн. наук

¹Львовський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна

²Український науково-дослідницький інститут громадянської захисту, Україна

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

теплоизоляция, пенополистирол, энергетическая эффективность, термомодернизация здания, конструкция с фасадной теплоизоляцией с отделкой штукатуркой, пожар, противопожарный пояс, минеральная вата, полимерная штукатурка

АННОТАЦИЯ

Целью работы является анализ противопожарных мероприятий в конструкциях наружных стен с фасадной теплоизоляцией и отделкой штукатуркой, а также анализ особенностей их устройства, учитывая опыт других государств. Рассмотрены и проанализированы виды, конструктивные особенности, назначение и функции противопожарных поясов и обрамления оконных (дверных) проемов выполненных из негорючих материалов, которые устраиваются в конструкциях наружных стен с фасадной теплоизоляцией и отделкой штукатуркой. Установлена роль этажных противопожарных поясов и обрамления оконных (дверных) проемов из негорючих плит из минеральной ваты. Сделаны выводы о том, что в Украине, в национальных нормативных документах процедура обустройства противопожарных поясов и обрамления вокруг оконных и дверных проемов, недостаточно технически описана. В силу этого обстоятельства возможны случаи, когда требования нормативных документов по устройству систем фасадной теплоизоляции трактуются неправильно или вообще игнорируются.

УДК 504.5:665.6

ЗАСТОСУВАННЯ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСУ ANSYS CFX ДЛЯ МОДЕЛЮВАННЯ РУХУ ГАЗОВОГО ПОТОКУ В РЕАКЦІЙНІЙ КАМЕРІ ПРИ ОТРИМАННЯ СОРБЕНТУ НА ОСНОВІ ТЕРМОРОЗЩЕПЛЕНОГО ГРАФІТУ

Ф.І.Кірчу, канд.техн.наук, доцент, О.Ф. Нікулін, д-р техн.наук, А.І.Кодрик, канд.техн.наук, Тітенко О.М.*, канд.техн.наук, Мороз О.І.

Український науково-дослідний інститут цивільного захисту, Україна

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 16.11.2019

Пройшла рецензування: 12.12.2019

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

терморозширений графіт, реакційна камера, моделювання процесу, газодинаміка, газовий потік, інжектор, поля швидкості та температури.

АНОТАЦІЯ

Робота присвячена дослідженню можливостей використання методів чисельної газодинаміки для оптимізації і оцінки впливу конструктивних характеристик реакційної камери для отримання терморозщепленого графіту, як сорбенту для ліквідації наслідків розливу нафтопродуктів на водній поверхні, на його експлуатаційні характеристики. При розрахунках використовувалася стандартна SST модель турбулентної в'язкості реалізованості в програмному комплексі ANSYS 12. Результати моделювання дозволили домогтися стійкої роботи ежектора, за допомогою якого графіт вводиться в реакційну камеру. Виявлена необхідність перепрофілювання реакційної камери для забезпечення більш стійкого вихрового течії всередині її, з метою забезпечення сепарації розщепленого і нерозщепленого графіту, збільшення часу проходження реакції розширення і створення рівномірного теплового поля в реакторі, що дозволило зменшити щільність і підвищити сорбційну здатність терморасширенного графіту.

Постановка проблеми.

Для ліквідації плівок нафти на поверхні води застосовують поглинання нафти за допомогою фізико-хімічних методів з використанням сорбентів, серед яких унікальним являється сорбент на основі терморозщепленого графіту (далі – ТРГ). Важливою експлуатаційною характеристикою сорбенту є його сорбційна здатність, яка вимірюється відношенням кількості нафти поглиненої одним грамом сорбенту [1]. Її значення залежить від технології отримання терморозщепленого графіту, а саме - створення рівномірного теплового поля в реакторі з його отримання та часу проходження реакції терморозщеплення.

Недоліком ТРГ є надзвичайно низька його густина: 2.4 кг/м^3 , що приводить до відчутних труднощів при транспортуванні ТРГ до місця аварії. Принциповим вирішенням цієї проблеми є створення мобільних установок, які б виробляли ТРГ по місцю аварії. Але такі установки потребують спеціальних реакторів з відповідними технологічними параметрами та геометричними габаритами. Ефективним підходом при прийнятті конструктивних рішень є попереднє моделювання теплофізичних процесів розщеплення графіту з використанням програмного комплексу ANSYS CFX, як найбільш потужного з існуючих на сьогоднішній день інструментів чисельного моделювання газодинамічних процесів. Створення адекватної

математичної моделі процесу терморозщеплення графіту, з використанням методів чисельної газодинаміки, дозволить виявити вплив як конструктивних так і технологічних параметрів процесу на експлуатаційні характеристики сорбенту що є актуальним при створенні та використанні обладнання для його продукування.

Аналіз публікацій

Нафта і нафтопродукти є одним з найсильніших забруднюючих факторів навколишнього середовища. Забруднення викликаються прямими розливами нафтопродуктів, скиданням промивальних і баластних вод у море, внаслідок виникнення аварійних ситуацій на морських свердловинах, транспортних трубопровідних системах і нафтоналивних суднах [1,2].

Вивчення ролі та природи поверхні дисперсних частинок у процесах змочування та структуроутворення [3] дає підстави для висновку, що спосіб сорбційної очистки, що відноситься до вказаних вище фізико-хімічних способів ліквідації забруднень, пов'язаних з антропогенними рідинами, а особливо з вуглеводневими сполуками має певні переваги у порівнянні з очисткою диспергаторами [4]. Раціональність використання сорбентів [5] і розвитку технологій для їх отримання [5, 6] саме для цих завдань очистки довкілля від вуглеводневих сполук підтверджується значним збільшення виробництва

високоякісних [7], іноді досить дорогих, сорбентів такими іноземними компаніями, як: “Chemviron Carbon”, “Norit”, “Sutcliffe Speakman Carbon”. В літературі відсутні дані щодо використання моделювання теплофізичних процесів розщеплення графіту з використанням програмних комплексів

Мета роботи.

Обґрунтування конструктивних параметрів мобільної установки з отримання ТРГ та оптимізації технології його продукування за допомогою математичної моделі з використанням методів чисельної газодинаміки.

Викладення основного матеріалу.

Сучасна обчислювальна газодинаміка займається розробкою таких актуальних напрямків, як розрахунок рухів в'язкої рідини (газу), чисельне дослідження течій газу з фізико-хімічними перетвореннями, вивчення поширення ударних хвиль в особистих середовищах. В найбільш загальному випадку для завдання газової динаміки потрібно вирішити систему з чотирьох

незалежних рівнянь, яка носить назву системи рівнянь Нав'є-Стокса: рівняння нерозривності (збереження маси), рівняння кількості руху (збереження імпульсу), рівняння енергії (збереження енергії), рівняння стану. Система рівнянь Нав'є-Стокса утворюють закінчену математичну модель поведінки рідини (газу), детально і строго описує практично весь спектр течій, а саме:

- рівняння нерозривності, що відповідає закону збереження маси :

$$\frac{\partial \rho}{\partial t} + \frac{\partial(\rho V_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho V_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho V_z)}{\partial z} = 0 \quad (1)$$

де V_x , V_y , V_z - компоненти вектора швидкості в напрямках x , y і z відповідно; ρ - щільність; x , y , z - глобальні декартові координати; t - час.

- закон збереження імпульсу, що зв'язує напруження і швидкість деформації рідини для трьох напрямків, у вигляді рівнянь Нав'є-Стокса:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho V_x}{\partial t} + \frac{\partial(\rho V_x V_x)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho V_x V_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho V_x V_z)}{\partial z} = \rho g_x - \frac{\partial p}{\partial x} + \\ + \frac{\partial}{\partial x} \mu_e \frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \mu_e \frac{\partial V_x}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \mu_e \frac{\partial V_x}{\partial z} + T_x, \end{aligned} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho V_y}{\partial t} + \frac{\partial(\rho V_x V_y)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho V_y V_y)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho V_y V_z)}{\partial z} = \rho g_y - \frac{\partial p}{\partial y} + \\ + \frac{\partial}{\partial x} \mu_e \frac{\partial V_y}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \mu_e \frac{\partial V_y}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \mu_e \frac{\partial V_y}{\partial z} + T_y, \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \rho V_z}{\partial t} + \frac{\partial(\rho V_x V_z)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho V_y V_z)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho V_z V_z)}{\partial z} = \rho g_z - \frac{\partial p}{\partial z} + \\ + \frac{\partial}{\partial x} \mu_e \frac{\partial V_z}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \mu_e \frac{\partial V_z}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \mu_e \frac{\partial V_z}{\partial z} + T_z, \end{aligned} \quad (4)$$

де: g_x , g_y , g_z - компоненти вектору прискорення вільного падіння в напрямках x , y і z , відповідно; μ_e - ефективна в'язкість; T_x , T_y , T_z

- компоненти вектору вузьких втрат в напрямках x , y і z , відповідно.

$$T_x = \frac{\partial}{\partial x} \mu \frac{\partial V_x}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \mu \frac{\partial V_y}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial z} \mu \frac{\partial V_z}{\partial x} \quad (5)$$

$$T_y = \frac{\partial}{\partial x} \mu \frac{\partial V_x}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial y} \mu \frac{\partial V_y}{\partial y} + \frac{\partial}{\partial z} \mu \frac{\partial V_z}{\partial y} \quad (6)$$

$$T_z = \frac{\partial}{\partial x} \mu \frac{\partial V_x}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial y} \mu \frac{\partial V_y}{\partial z} + \frac{\partial}{\partial z} \mu \frac{\partial V_z}{\partial z} \quad (7)$$

Ефективна в'язкість враховує ламінарну в'язкість M (яка визначається властивостями

рідини) і турбулентну в'язкість M_t : (яка розраховується за моделлю турбулентності)

$$\mu_s = \mu + \mu_t \quad (8)$$

Для опису турбулентності була використана SST модель (Shear Stress Transport Model) (двошарова модель Ментера), яка поєднує в собі переваги як стандартної $k-\epsilon$ моделі, так і $k-\omega$ моделі.

- рівняння закону збереження енергії, представлене у вигляді термічного транспортного рівняння:

$$\frac{\partial(\rho C_p T)}{\partial t} + \frac{\partial(\rho C_p V_x T)}{\partial x} + \frac{\partial(\rho C_p V_y T)}{\partial y} + \frac{\partial(\rho C_p V_z T)}{\partial z} = \frac{\partial}{\partial x} \left(k \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(k \frac{\partial T}{\partial y} \right) + \frac{\partial}{\partial z} \left(k \frac{\partial T}{\partial z} \right) + Q_v, \quad (9)$$

де T - температура; Q_v - об'ємні джерела тепла; k - теплопровідність; C_p - питома теплоємність.

В рамках оціночного розрахунку технологічних параметрів реакційної камери було проведено моделювання потоку газу по усій його траєкторії руху всередині робочого простору. Для розрахунку використовували пакет ANSYS CFX, як найбільш потужний з існуючих на сьогоднішній день, інструмент чисельного моделювання газодинамічних процесів [7,8].

З метою послідовного наближення розрахунку до реальних фізичних процесів на даному (попередньому) етапі моделювати подачу гарячого газу в робочу зону камери без окисленого графіту (ОГ). У розрахунку аналізували тільки поля розподілу швидкостей основного газу при температурах реального процесу, і поля розподілу швидкостей транспортного повітря який використовується для подачі ОГ.

Об'єкт досліджень і формалізація задач.

Як об'єкт дослідження використовувалася реакційна камера барабанного типу. Подачу порошку ОГ здійснювалось в напрямку перпендикулярному напрямку потоку через бічний патрубок на циліндричній частині камери (рис. 1).

Допущення і обмеження:

- моделювання здійснювалось з використання стиснутої моделі ідеального газу;
- теплообмін через стінки камери з навколишнім середовищем відсутній;
- моделювання здійснювалось без подачі порошку ОГ, замість нього подавалось повітря (з початковою температурою 300°K) в обсязі еквівалентному ОГ (по відібраному теплу).
- горіння паливоповітряного середовища не враховувалось (на вхід камери подавався газ з

температурою 1500°K).

- граничні умови типу "opening" ($T = 300^\circ\text{K}$, $P = 0$ Па - надлишковий тиск). Ця умова задавалась для визначення тиску на патрубок підведення графіту.

- гранична умова типу "inlet" с завданням витрати повітря і його температури.

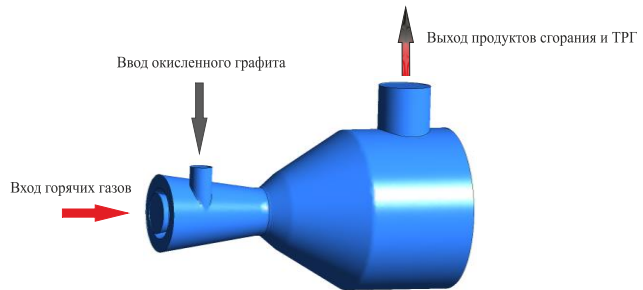


Рисунок 1– Загальний вигляд реакційної камери

Розрахункова модель і граничні умови

Розрахункова область складалася з 3-D моделі реакційної камери (рис.1) з накладеними граничними умовами. Модель камери розбивали на кінцеві обсяги з згущенням сітки в пристінкових областях за допомогою програми ICEM CFD. Сітка за своєю структурою - тетраедрична (рис.2) з середньою загальною кількістю елементів від 2 млн. При розрахунках використовувалася стандартна SST модель турбулентної в'язкості реалізована в програмному комплексі ANSYS 12.

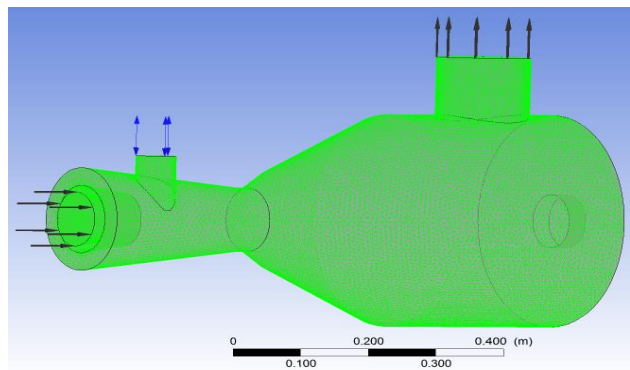


Рисунок 2 – Розрахункова сітка

Граничні умови визначалися на всіх поверхнях розрахункової області і включали умови на твердих стінках, на вході і на виході, граничні умови на твердих стінках були визначені з умови прилипання потоку до гладкої адіабатичної стінки $u_{cm} = v_{cm} = w_{cm} = 0$.

Граничними умовами на вході 1 (палиниковий вхід) була повна температура T

$=1500^{\circ}\text{K}$, і швидкість газového потоку. На вході 2 (вхід порошку ОГ) повна температура $T=300^{\circ}\text{K}$ і витрата газу.

Граничні умови на виході з дифузора задавалися з екстраполяцією всіх параметрів за параметрами на вході «вільний вихід», при $P=0$ Па - надлишковий тиск. При розрахунках використовувався матричний алгоритм «coupled» з неявній схемою рішення рівнянь газовой динаміки реалізований в програмному комплексі ANSYS 12. Критерієм збіжності було досягнення неузгодженості на рівні 10^{-5} .

Програма ANSYS видає результати у різній формі. Найбільш наочною є кольорова картина розподілу параметра. На наведених нижче малюнках показані кольорові картини розподілу швидкості (м/с) газového потоку в різних частинах робочого простору реакційної камери. Шкала змінюється від синього (мінімум) до червоного (максимум).

Поперечний зріз картини швидкості потоку по усій довжині робочого простору камери показаний на рис. 3, межі зміни швидкості від 0 до 46 м/с.

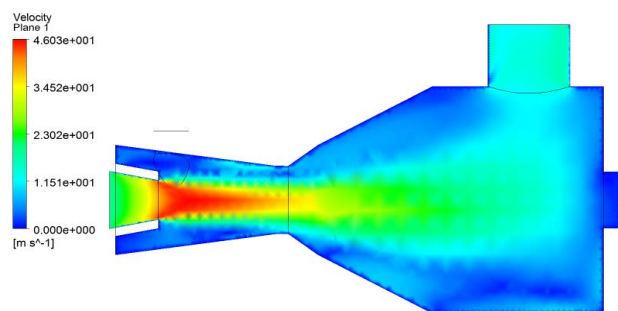


Рисунок 3 – Зміна швидкості потоку вздовж проточної частини камери

В області входу спостерігається стійке витікання затопленого гарячого струменя з ростом швидкості (рис. 3). Розгін газového потоку в сопловій частини ежектора сприятливо впливає на ежекційну здатність. При цьому в патрубку подачі графіту відбувається зниження статичного тиску (рис.4), що сприятливо позначається на подачі графіту.

Поле розподілу температури - рівномірне (рис. 5). Це сприятливо позначається на термоударі який отримує ОГ поміщений в камеру.

Поле розподілу температури - рівномірне (рис. 5). Це сприятливо позначається на термоударі який отримує ОГ поміщений в камеру.

Поле розподілу температури - рівномірне (рис. 5). Це сприятливо позначається на термоударі який отримує ОГ поміщений в камеру.

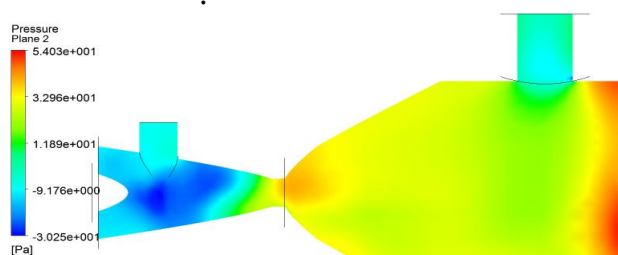


Рисунок 4 – Розподіл статичного тиску в реакційній камері

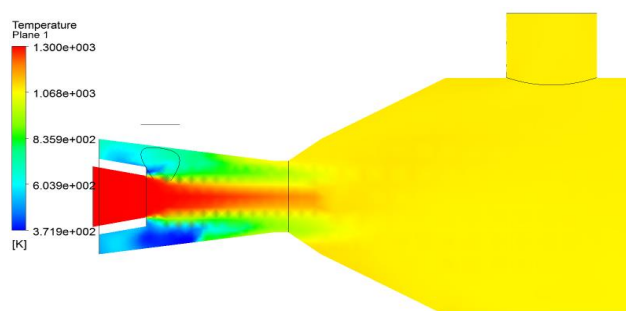


Рисунок 5– Розподіл статичної температури в реакційній камері

З рис.6 видно, що лінії газového струму мають досить складну несиметричну структуру. Графіт у камері буде знаходитися тривалий час [9], що призведе до забезпечення необхідного термоудару для максимального терморозщеплення.

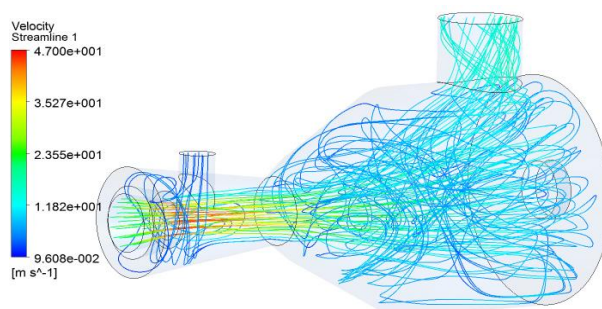


Рисунок 6 – Розподіл ліній струму в реакційній камері

Висновки

1. За допомогою пакету комп'ютерного газодинамічного аналізу ANSYS CFD 12 виявлено шляхи перепрофілювання конструкції реактора мобільної установки для створення більш стійкої вихрової течії всередині камери з метою забезпечення сепарації розщепленого і нерозщепленого графіту, створення рівномірного теплового поля у реакторі та збільшення часу

проходження реакції терморозщеплення, що приводить до стабільного отримання сорбенту з підвищеними експлуатаційними властивостями.

2. Отримано оптимальне розподілення термодинамічних параметрів газового потоку, що дозволяє підвищити сорбційну здатність отриманого терморозщепленого графіту до 85-90 г/г, що збільшує ефективність його використання при ліквідації розливів нафтопродуктів на водних та ґрунтових поверхнях.

3. Результати моделювання дозволили обґрунтувати параметри ежектора, за допомогою

якого підводиться графіт в реакційну камеру, тим самим підвищити надійність функціонування мобільних установок для вироблення сорбенту при ліквідації розливів нафтопродуктів на водних та ґрунтових поверхнях.

4. За допомогою моделювання реакторної камери мобільної установки були отримані визначальні енергетичні та геометричні параметри, на основі яких приймаються конструктивні рішення при її розробці

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. А.І. Кодрик, М.О. Нікулін. З питання утилізації нафтових забруднень на водній поверхні та під водою// Науковий вісник УкрНДІПБ. – 2013. – Вип.2(28). – С. 35–383.
2. Паховчишин С.В. Роль природи поверхні дисперсних частинок у процесах змочування та структуроутворення. Автореферат дисертації доктора хімічних наук. К. ІБКХ НАН України, 2000 р., 36 с
3. Тітенко О.М. Удосконалення способу вироблення сорбенту нафтопродуктів в умовах ліквідації аварійних розливів /О.Ф. Нікулін, Н.Я. Недбаєв, О.І. Мороз, О.М. Тітенко// Монографія. Безпечна вода. Ч. 1, Szkoła Główna na Pożarniczej (Polska), 2015. - С. 96-111.
4. Ammonium nitrate explosive composition containing vermicular low density expanded graphite [Текст]: US3260632, C01B31/04/ Franciszek Olstowski, Minderhout James R, Oliver Osborn, Patrick Frank D., 18.06.1964, 12.07.1966.

REFERENCES

1. A.I. Kodrik, M.O. Nikulin. Z pitanja utilizacii naftovih zabrudnen' na vodnij poverhni ta pid vodoju// Naukovij visnik UkrNDIPB. – 2013. – Vip.2(28). – S. 35–383.
2. Pahovchishin S.V. Rol' prirodi poverhni dispersnih chastinok u procesah zmochuvannja ta strukturoutvorennja. Avtoreferat disertacii doktora himichnih nauk. K. IBKH NAN Ukraïni, 2000 r., 36 s
3. Titenko O.M. Udoshkonalennja sposobu viroblennja sorbentu naftoproduktiv v umovah likvidacii avarijnih rozliviv /O.F. Nikulin, N.Ja. Nedbaev, O.I. Moroz, O.M. Titenko// Monografija. Bezpechna voda. Ch. 1, Szkoła Główna na Pożarniczej (Polska), 2015. - C. 96-111.
4. Ammonium nitrate explosive composition containing vermicular low density expanded graphite [Text]: US3260632, C01B31/04/ Franciszek Olstowski, Minderhout James R, Oliver Osborn, Patrick Frank D., 18.06.1964, 12.07.1966.
5. Method of producing a graphite intercalation compound. [Текст]: US4350576C25B 1/00 (20060101); C25B 001/00 ;

5. Method of producing a graphite intercalation compound. [Текст]: US4350576C25B 1/00 (20060101); C25B 001/00 ; C25B 001/22; Watanabe; Nobuatsu (Nagaokakyo, JP), Kondo; Teruhisa (Toyonaka, JP), Ishiguro; Jiro (Suita, JP), , , 14.12.1979, 12.12.1980.
6. Thermally Exfoliated Graphite. [Текст]: US 2007/0092432; C01B 31/04 (2006.01) Robert K. Prud'Homme, Ilhan A. Aksay, Douglas Adamson, Ahmed Abdada; Filed: Oct.14, 2005; Pub.Date: Apr.26,2007.
7. Басов К.А. Графический интерфейс комплекса ANSYS. М.: ДМК Пресс, 2006.
8. Басов К.А. ANSYS: справочник пользователя. М.: ДМК Пресс, 2005.
9. Тітенко О.М. Математична модель теплових витрат в технології отримання терморозширеного графіту / О.М. Тітенко// Вісник АМУ, серія «Техніка». - Київ: Вид. АМУ, 2014. № 1 (7). - С.128-135.

- C25B 001/22; Watanabe; Nobuatsu (Nagaokakyo, JP), Kondo; Teruhisa (Toyonaka, JP), Ishiguro; Jiro (Suita, JP), , , 14.12.1979, 12.12.1980.
6. Thermally Exfoliated Graphite. [Текст]: US 2007/0092432; C01B 31/04 (2006.01) Robert K. Prud'Homme, Ilhan A. Aksay, Douglas Adamson, Ahmed Abdada; Filed: Oct.14, 2005; Pub.Date: Apr.26,2007.
7. Basov K.A. Graficheskij interfejs kompleksa ANSYS. M.: DMK Press, 2006.
8. Basov K.A. ANSYS: spravochnik pol'zovatelja. M.: DMK Press, 2005.
9. Titenko O.M. Matematichna model' teplovih vitrat v tehnologii otrimannja termorozshirenogo grafitu / O.M. Titenko// Visnik AMU, serija «Tehnika». - Kiïv: Vid. AMU, 2014. № 1 (7). - S.128-135

APPLICATION OF ANSYS CFX SOFTWARE FOR MODELING OF GAS FLOW MOVEMENT IN A REACTION CHAMBER WHEN SORBENT IS OBTAINED ON THE BASIS OF THERMALLY EXPANDED GRAPHITE

F. Kirchu, Cand. of Sc. (Eng.), A. Nikulin, Doc. of Sc. (Eng.), A. Kodryk, Cand. of Sc. (Eng.), O. Titenko, Cand. of Sc. (Eng.), O. Moroz

The Ukrainian Civil Protection Research Institute, Ukraine

KEYWORDS

exfoliated graphite reaction chamber, process modeling, gas dynamics, gas flow, injector, velocity field and temperature

ANNOTATION

The work is devoted to the description of technology of evaluation of the characteristics of the reaction chamber for obtaining thermally expanded graphite, as a sorbent for oil products, using methods of numerical gas dynamics based on the use of the ANSYS - 12 software complex. The purpose of this study is to optimize the geometric and thermal parameters of the reaction chamber, which provides the maximum degree of thermal expansion of oxidized graphite.

The following assumptions and limitations were used in the calculations: simulation was performed using a compressed ideal gas model, a standard SST turbulent viscosity model was used, there is no heat exchange through the walls of the chamber with the environment, the simulation was carried out without the supply of expanded graphite powder, instead of supplying air (with an initial temperature of 300 ° K) in the amount equivalent to graphite to calculate the equal value of heat absorption, the chemical reaction of combustion of the fuel-air environment was not taken into account (1500 ° K gas was fed into the chamber), limit conditions of type "opening" ($T = 300^{\circ} \text{K}$, $P = 0 \text{ Pa}$ - excess pressure), the boundary condition of type "inlet" was set in the form of air flow taking into account its temperature. The boundary conditions were determined on all surfaces of the computational domain and included the conditions on the solid walls, at the inlet and outlet, the boundary conditions on the solid walls were determined from the condition of the flow adherence to the smooth adiabatic wall. The simulation results made it possible to achieve stable operation of the ejector by which the graphite is fed into the reaction chamber. The need to re-profile the chamber to provide a more stable vortex flow within the reaction chamber was detected to allow for the separation of expanded and unexpanded graphite, increasing the reaction time of the expansion, increasing the magnitude of thermal expansion of oxidized graphite, creation of a uniform thermal field in the reactor, which increased the sorption capacity of thermally expanded graphite.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ПРОГРАМНОГО КОМПЛЕКСА ANSYS CFX ДЛЯ МОДЕЛИРОВАНИЯ ДВИЖЕНИЯ ГАЗОВОГО ПОТОКА В РЕАКЦИОННОЙ КАМЕРЕ ПРИ ПОЛУЧЕНИИ СОРБЕНТА НА ОСНОВЕ ТЕРМОРАЗШИРЕННОГО ГРАФИТА

Ф.И.Кирчу, канд.техн.наук, доцент, А.Ф.Никулин, д-р техн.наук, Кодрик А.И, канд.техн.наук, Титенко А.Н., канд.техн.наук, Мороз А.И.

Украинский научно-исследовательский институт гражданской защиты, Украина

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

терморасширенный графит, реакционная камера, моделирование процесса, теплообмена, газовый поток, инжектор, поля скорости и температуры.

АННОТАЦИЯ

Работа посвящена описанию технологии оценки характеристик реакционной камеры для получения термически расширенного графита как сорбента для нефтепродуктов с использованием методов численной газодинамики, основанных на использовании программного комплекса ANSYS - 12.

Целью данного исследования является оптимизация геометрических и тепловых параметров реакционной камеры мобильной установки, что обеспечивает максимальную степень теплового расширения окисленного графита.

В расчетах использовались следующие допущения и ограничения: моделирование проводилось с использованием модели сжатого идеального газа, использовалась стандартная модель турбулентной вязкости SST, теплообмена через стенки камеры с окружающей средой не было, моделирование проводилось без подачи порошка окисленного графита, вместо подачи воздуха (с начальной температурой 300 ° K) в количестве, эквивалентном графиту для расчета равной величины поглощения тепла, химическая реакция горения топливовоздушной среды не была учтена (при подаче газа 1500 ° K в камеру) предельные условия типа «открытие» ($T = 300^{\circ} \text{K}$,

$P = 0$ Па - избыточное давление), граничное условие типа «inlet» было установлено в Форма воздушного потока с учетом его температуры и температуры.

Граничные условия были определены на всех поверхностях расчетной области и включали условия на твердых стенках, на входе и выходе, граничные условия на твердых стенках определялись из условия прилипания потока к гладкой адиабатической стенке.

Результаты моделирования позволили добиться стабильной работы эжектора, благодаря которому графит подается в реакционную камеру.

Была выявлена необходимость перепрофилирование камеры для обеспечения более стабильного вихревого потока внутри реакционной камеры, чтобы можно было сепарировать расщепленный и нерасщепленный графит, увеличивая время реакции расширения, увеличивая величину теплового расширения, окисленного графит, создания однородного теплового поля в реакторе, что увеличило сорбционную емкость термически расщепленного графита.

УДК 614.841:536.46

ДОСЛІДЖЕННЯ СПАЛАХУВАННЯ ТА ГОРІННЯ ЧАСТИНОК АЛЮМІНІЄВО-МАГНІЄВИХ СПЛАВІВ У ПРОДУКТАХ РОЗКЛАДАННЯ ТВЕРДИХ ПІРОТЕХНІЧНИХ ПАЛИВ

О.В. Кириченко¹, д-р техн.наук, с.н.с., О.С. Діброва¹, Р.Б. Мотрічук^{1*}, В.А. Ващенко²,
д-р техн.наук, професор, С.О. Колінько², канд. фіз.-мат. наук, доцент

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

²Черкаський державний технологічний університет

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 18.11.2019

Пройшла рецензування: 16.12.2019

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

порошки алюмінієво-магнієвих сплавів, АМС, перхлорат амонію, ПХА, термічне розкладання, пожежовибухонебезпека.

АНОТАЦІЯ

Представлено результати експериментальних досліджень процесів спалахування та горіння частинок алюмінієво-магнієвих сплавів у газоподібних продуктах високотемпературного розкладання твердих піротехнічних палив, що призводять до їх пожежовибухонебезпечного розвитку. Актуальність проведених досліджень обумовлена широкою галуззю застосування піротехнічних виробів на основі піротехнічних сумішей порошків алюмінієво-магнієвих сплавів з добавками органічних речовин, зокрема застосуванням в військовій техніці та застосуванням в різноманітних галузях пов'язаних з обертанням твердих піротехнічних палив, освітлювальних та сигнальних засобів тощо. Відповідно при пожежі на об'єктах зберігання піротехнічних виробів або під час їх транспортування виникає небезпека спалахування піротехнічних сумішей з різним прискоренням подальшого процесу їх згоряння та відбувається руйнування піротехнічних виробів. Внаслідок цього утворюються високотемпературні продукти згоряння, які є пожежонебезпечними для навколишніх об'єктів.

Відповідно до вищезазначеного необхідним є отримання даних про закономірності процесу спалахування та горіння частинок алюмінієво-магнієвих сплавів, що визначає можливість прогнозування пожежонебезпечних властивостей піротехнічних сумішей. В результаті проведених досліджень були отримані дані щодо спалахування та горіння частинок алюмінієво-магнієвих сплавів, зокрема отримано залежність часу затримки спалахування частинок алюмінієво-магнієвих сплавів від їх хімічного складу, отримано дані по процесу горіння частинок алюмінієво-магнієвих сплавів, отримано дані по впливу добавок до алюмінієво-магнієвих сплавів

Вступ. Нині піротехнічні суміші порошків алюмінієво-магнієвих сплавів (АМС) з перхлоратом амонію (ПХА) та добавками органічних речовин (парафіну, уротропіну та ін.) широко використовуються у різних областях військової техніки та різних галузях народного господарства (тверді піротехнічні палива, освітлювальні та сигнальні засоби тощо) [1 – 11]. В умовах вимушеного зовнішнього нагріву (наприклад, при спалахуванні складських приміщень, де зберігаються піротехнічні вироби, споряджені зарядами з розглядуваних сумішей, в умовах транспортування при інтенсивному конвективному нагріві їх поверхонь, або при ударних теплових впливах на вироби в умовах пострілу та польоту) піротехнічні суміші можуть спалахувати з різним прискоренням подальшого процесу їх згоряння, руйнуванням виробів з утворенням високотемпературних продуктів згоряння, які є

пожежонебезпечними для навколишніх об'єктів (рис. 1) [3, 6, 9, 11, 12].

Тому для прогнозування пожежонебезпечних властивостей піротехнічних сумішей у вказаних умовах необхідно, в першу чергу, мати дані про закономірності процесу спалахування та горіння частинок АМС у газоподібних продуктах термічного розкладання ПХА та органічних добавок. На даний момент окремі дані по спалахуванню та горінню частинок АМС у активних газоподібних середовищах при підвищених температурах нагріву знаходяться у багаточисельних довідниках, монографіях, наукових статтях та наукових працях [1 – 3, 6, 9, 12 – 19], що утруднює як встановлення закономірностей спалахування та горіння частинок АМС в умовах, близьких до реальних умов горіння піротехнічних сумішей, так й оперативне їх використання в якості керованої

бази даних з властивостей компонентів, які характеризують їх пожежонебезпеку в умовах різних зовнішніх термічних впливів. Тому метою даної роботи є систематизація та аналіз експериментальних даних по спалахуванню та

горінню часинок АМС у продуктах розкладання окиснювача та добавок органічних речовин, а також їх узагальнення у вигляді нових закономірностей.

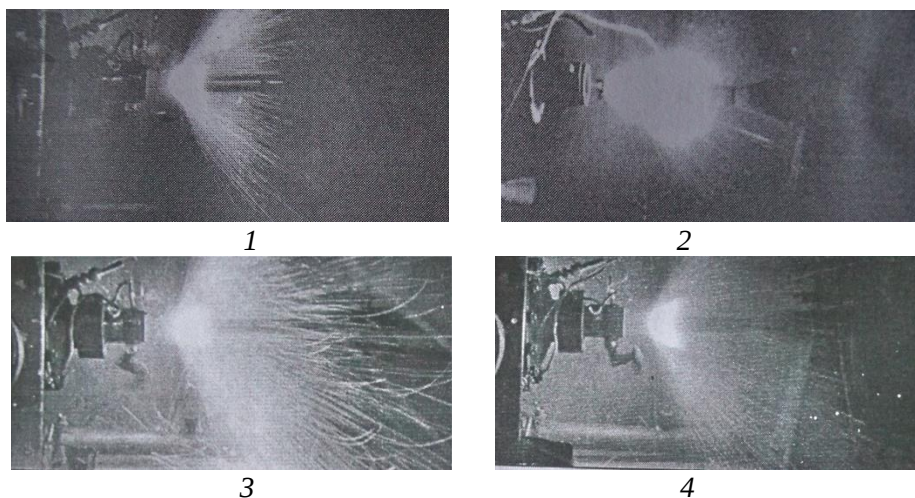


Рисунок 1 – Кінокадри зйомки загальної картини пожежовибухонебезпечних руйнувань зарядів ТПТ на основі сумішей ПХА + АМ + парафін при зовнішніх термічних впливах (q_n^* та τ^* – критичні значення зовнішніх теплових потоків та часів їх дії, перевищення яких викликає передчасне спрацювання зарядів ТПТ):

$$1 - q_n^* = 1,5 \cdot 10^6 \text{ Вт/м}^2, \tau^* = 90 \text{ с};$$

$$2 - q_n^* = 2 \cdot 10^6 \text{ Вт/м}^2, \tau^* = 40 \text{ с};$$

$$3 - q_n^* = 1,7 \cdot 10^6 \text{ Вт/м}^2, \tau^* = 70 \text{ с};$$

$$4 - q_n^* = 2,5 \cdot 10^6 \text{ Вт/м}^2, \tau^* = 30 \text{ с}.$$

В результаті проведених досліджень [2, 3, 6, 9] було встановлено, що при температурах, властивих реакційній зоні піротехнічних сумішей в умовах їх спалахування та розвитку горіння, основними активними газоподібними продуктами термічного розкладання окиснювача та розглядуваних органічних речовин є O_2 , CN , CH , NO , OH , NH , CHN . Тому нижче розглядаються результати досліджень процесів спалахування та горіння частинок АМС при підвищених температурах нагріву у вказаних газоподібних продуктах.

Результати досліджень та їх аналіз. Усі дослідження проводились на хімічно чистих компонентах сумішей, які випускаються піротехнічною промисловістю, з використанням наступних стандартних методів фізико-хімічного аналізу: методи кінозйомки, фотографічні методи, спектральні методи, фотоелектричні та термогравіметричні методи, оптичні методи, які ґрунтуються на інтерференції та поляризації у тонких плівках тощо [6, 9]. Дослідження зразків пресованих сумішей (використовувалось двостороннє пресування, зразки мали форму пластин розміром $1,5 \cdot 10^{-2} \times 2 \cdot 10^{-2} \times 3 \cdot 10^{-2} \text{ м}$) проводились на стандартних установках, що випускаються піротехнічною промисловістю [2, 3, 6]. Математична обробка експериментальних

даних (кожна точка отримана як середнє значення вимірювань 8...10 частинок, розміщених у зразку) показала, що відносна похибка вимірювань знаходилась у межах 4...7 %.

В результаті досліджень було встановлено залежність часу затримки спалахування ($\tau_{зс}$, мс) від хімічного складу частинок сплаву (дисперсність 135 мкм) (рис.2). Спалахування частинок з малим вмістом Mg відбувається на значній відстані від поверхні горіння. Із збільшенням вмісту Mg час затримки спалахування швидко зменшується, частинки, що містять 55...65 % Mg, спалахують безпосередньо на поверхні. Займистість частинок з великим вмістом Mg дещо погіршується.

Показано, що ширина треків частинок, що горять, у 3...5 разів перевищує діаметр часинок; межі треків розмиті. Характер треків свідчить про те, що для більшості сплавів переважає горіння у паровій фазі. Із зростанням вмісту Mg ширина треків збільшується (збільшується частка парових реакцій або швидкість їх протікання), а час горіння зменшується. При цьому час згорання частинок може бути зменшений за рахунок “вибухового” горіння, тобто горіння з розщепленням, яке не

одноразово спостерігалось під час експериментів.

На рис. 3 видно, що частка частинок, які розщеплюються, зростає із збільшенням вмісту Mg у сплаві, наближається до одиниці при концентрації Mg у сплаві $C_{Mg} = 57...68\%$ й далі зменшується.

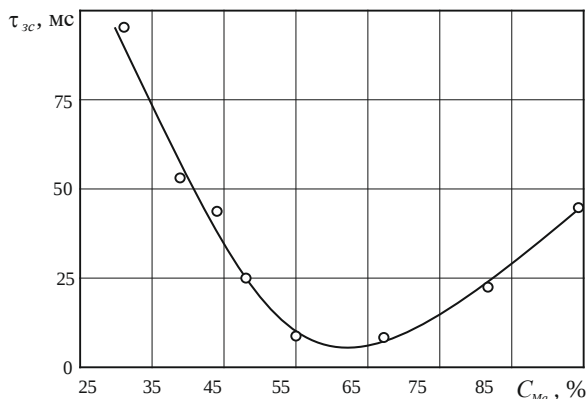


Рисунок 2 – Залежність часу затримки спалахування $\tau_{зс}$ від вмісту Mg у частинках C_{Mg} .

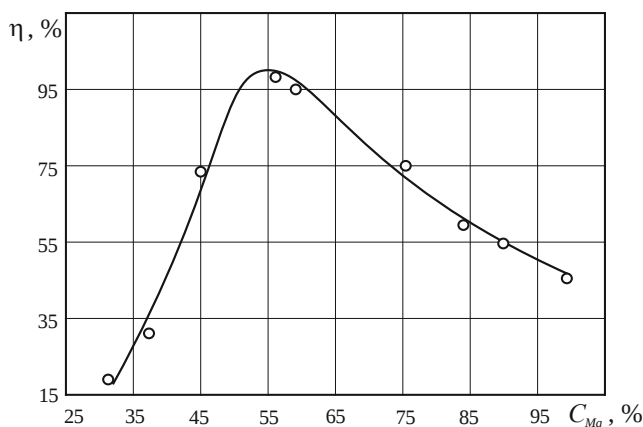


Рисунок 3 – Залежність частки частинок, що розщепилися η , від вмісту Mg у сплаві C_{Mg} .

При цьому крива на рис. 3, що відображає характер горіння частинок АМС, коригує з кривою рис. 2, що відображає характер їх спалахування.

Схожа залежність температури спалахування від хімічного складу отримана для частинок АМС; при цьому швидкість окиснення деяких частинок АМС та їх займистість вище, ніж у магнію, що пояснюється впливом магнію на оксидну плівку, що покриває частинки сплаву (нагадаємо, що відношення Пілінга-Бедворса для алюмінію складає 1,28...1,54, а для магнію – 0,81). Вміст Mg у оксидній плівці завжди у багато разів вище середнього вмісту Mg у сплаві Al – Mg: якщо сплав, з якого виготовлена частинка, містить більше 0,01 % Mg, то оксидна плівка на частинці складається із суміші подвійного оксиду $MgO \cdot Al_2O_3$ та MgO .

При вмісті у сплаві більше 1 % Mg оксидна плівка на частинці цілком складається з MgO . Такий розподіл металів по об'єму частинки викликаний, у основному, високою поверхневою активністю магнію (при 923...933 К величини поверхневого натягу Al та Mg дорівнюють відповідно 0,865 Н/м та 0,559 Н/м). У рідкому стані поверхня краплі сплаву збагачується поверхнево-активним металом – магнієм. При швидкому затвердінні сплаву вирівнювання не встигає пройти, й частинка зберігає розподіл металів, який існував у рідкій фазі. Далі, оскільки летючість магнію значно перевищує летючість алюмінію (при 1273 К пружність пари Mg майже на 6 порядків вище, ніж пружність пари алюмінію), то із збільшенням вмісту Mg у сплаві відбувається прискорення хімічних реакцій у паровій фазі.

При плавленні металу всередині оксидної оболонки відбувається помітне збільшення об'єму металу (для Al – на 6,4 %, для Mg – на 4,2 %), виникають напруги, що здатні зруйнувати оксидну оболонку. Це ще більше полегшує спалахування частинок при нагріві.

Встановлено, що порушення міцності оксидної плівки та збільшення летючості сплаву, разом з підвищеною реакційною здатністю магнію, призводять до зростання швидкості горіння із збільшенням вмісту Mg аж до 80 %. Однак, при подальшому збільшенні вмісту магнію (більше 80 %) горіння частинок знову гальмується. Пояснення цього полягає у підвищенні температури плавлення сплаву та зниженні його сумарної теплоти згорання.

Добавки до АМС невеликих кількостей MnO_2 , BaO, V_2O_5 (до 1...2 %) зменшують період індукції частинок при нагріванні у продуктах згорання піротехнічного палива на основі ПХА. При цьому вплив цих добавок при введенні їх у склад палива більше, ніж у випадку, коли поверхня металу покривається ними. Найбільший вплив на зменшення періоду індукції має MnO_2 , найменший – BaO.

Висновки. Систематизація та узагальнення отриманих даних по спалахуванню та горінню частинок алюмінієво-магнієвих сплавів у активних газоподібних продуктах високотемпературного розкладання твердих піротехнічних палив на основі ПХА та добавок органічних речовин (парафіну, уротропіну та ін.) (O_2 , CN, CH, NO, OH, NH, CHN) показують, що:

– час затримки спалахування частинок АМС суттєво залежить від їх хімічного складу: при малому вмісті Mg (< 30...35 %) спалахування частинок спостерігається на

значній відстані від поверхні горіння; при збільшенні вмісту Mg (> 35...40 %) затримка спалахування різко зменшується, при цьому частинки, що містять до 55...65 % Mg спалахують безпосередньо на поверхні;

– процес горіння частинок АМС відбувається у паровій фазі та закінчується вибухонебезпечним розщепленням на дрібні частинки; при ньому частка частинок, що

розщеплюються, зростає із збільшенням вмісту Mg у сплаві до 50...60 % до одиниці (повне розщеплення), а потім швидко зменшується;

– добавки до АМС невеликих кількостей MnO_2 , BaO, V_2O_5 (до 1...2 %) зменшують час затримки спалахування частинок, при цьому найбільший вплив має MnO_2 , а найменший – BaO.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Шидловский А. А. Основы пиротехники / А. А. Шидловский. – М.: Машиностроение, 1973. – 320 с.
2. Силин Н. А. Металлические горючие гетерогенных конденсированных систем / Н. А. Силин, В. А. Ващенко, Л. Я. Кашпоров и др. – М.: Машиностроение, 1976. – 320 с.
3. Силин Н. А. Горение металлизированных гетерогенных конденсированных систем / Н. А. Силин, В. А. Ващенко, Л. Я. Кашпоров и др. – М.: Машиностроение, 1982. – 232 с.
4. Тарасов В. В. Инфракрасные системы “смотрящего” типа / В. В. Тарасов, Ю. Г. Якушенок. – М.: Логос, 2004. – 444 с.
5. Глущенко А. Р. Танковые ночные системы и приборы наблюдения / А. Р. Глущенко, В. И. Гордиенко, А. В. Бурак, А. Ю. Денисенко. – Черкассы: Фотоприбор, 2007. – 441 с.

REFERENCES

1. Shidlovskij A. A. Osnovy pirotehniki / A. A. Shidlovskij. – M.: Mashinostroenie, 1973. – 320 s.
2. Silin N. A. Metallicheskie gorjuchie geterogennykh kondensirovannykh sistem / N. A. Silin, V. A. Vashhenko, L. Ja. Kashporov i dr. – M.: Mashinostroenie, 1976. – 320 s.
3. Silin N. A. Gorenje metallizirovannykh geterogennykh kondensirovannykh sistem / N. A. Silin, V. A. Vashhenko, L. Ja. Kashporov i dr. – M.: Mashinostroenie, 1982. – 232 s.
4. Tarasov V. V. Infekrasnye sistemy “smotrajshhego” tipa / V. V. Tarasov, Ju. G. Jakushenkov. – M.: Logos, 2004. – 444 s.
5. Glushhenko A. R. Tankovyie nochnye sistemy i pribory nabljudeniia / A. R. Glushhenko, V. I. Gordienko, A. V. Burak, A. Ju. Denisenko. – Cherkassy: Fotopribor, 2007. – 441 s.

6. Ващенко В. А. Процессы горения металлизированных конденсированных систем / В. А. Ващенко, О. В. Кириченко, Ю. Г. Лега, П. И. Заика, И. В. Яценко, В. В. Цыбулин. – К.: Наукова думка, 2008. – 745 с.
7. Кириченко О. В. Термодинамичні методи прогнозування пожежонебезпечних властивостей високометалізованих піротехнічних нітратно-металічних сумішей в умовах зовнішніх термовпливів / О. В. Кириченко, В. Д. Акіншин, В. А. Ващенко, В. В. Цибулін // Проблеми пожежної безпеки. – Харків: НУГУ, 2011. – № 30. – с. 104 – 106.

6. Vashhenko V. A. Processy gorenija metallizirovannykh kondensirovannykh sistem / V. A. Vashhenko, O. V. Kirichenko, Ju. G. Lega, P. I. Zaika, I. V. Jacenko, V. V. Cybulin. – K.: Naukova dumka, 2008. – 745 s.
7. Kirichenko O. V. Termodinamichni metodi prognozuvannja pozhezhonebezpechnih vlastivostej visokometalizovanih pirotehniknih nitratno-metalichnih sumishej v umovah zovnishnih termovpliviv / O. V. Kirichenko, V. D. Akin'shin, V. A. Vashhenko, V. V. Cibulin // Problemy pozharnoj bezopasnosti. – Har'kov: NUGU, 2011. – № 30. – с. 104 – 106.

THE RESEARCH OF IGNITION AND COMBUSTION OF ALUMINUM AND MAGNESIUM ALLOYS IN THE PRODUCTS OF DECOMPOSITION OF SOLID PYROTECHNICAL FUELS

O. Kyrychenko¹, *Doct. of Sc. (Eng.), Senior Fellow*, O. Dibrova¹, R. Motrichuk¹, V. Vashchenko², *Doct. of Sc. (Eng.), Prof.*, S. Kolinko², *Doct. of Sc. (Physics and Mathematics), Assoc. Prof.*

¹*Cherkassy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes of National University of Civil Protection of Ukraine*

²*Cherkasy State Technological University*

KEYWORDS

aluminum and magnesium alloy powders, AMA, ammonium perchlorate, PCA, thermal decomposition, fire explosion hazard.

ANNOTATION

The results of experimental research of processes of ignition and combustion of particles of aluminum and magnesium alloys in gaseous purges of high-temperature decomposition of solid pyrotechnic fuels leading to their fire explosive hazardous development are presented. The relevance of these research is due to the wide scope of application of pyrotechnic products based on pyrotechnic mixtures of powders of aluminum-magnesium alloys with additives of organic substances, in particular applications in military technology and use in various industries related to the rotation of solid pyrotechnic equipment. Accordingly, in case of fire at facilities where pyrotechnic products are kept or during their transportation there exists the risk of ignition of pyrotechnic mixtures with different acceleration of their subsequent combustion process and destruction of the pyrotechnic products. As a result, high-temperature combustion products are formed, which are fire hazardous to the surrounding environment.

Based on the foregoing, it is necessary to obtain data on the regularities of ignition and combustion particles of aluminum-magnesium alloys, which determines the ability to predict the properties of fire hazard pyrotechnic mixtures. As a result of conducted research, data on the ignition and combustion of particles of aluminum-magnesium alloys was obtained, in particular, the dependence of the delay time of the particles of aluminum-magnesium alloys on their chemical composition was obtained, the data on the process of combustion of particles of aluminum-magnesium alloys was obtained, the data on the effect of additives to aluminum-magnesium alloys was obtained.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВОСПЛАМЕНЕНИЯ И ГОРЕНИЯ ЧАСТИЦ АЛЮМИНИЕВО-МАГНИЕВЫХ СПЛАВОВ В ПРОДУКТАХ РАЗЛОЖЕНИЯ ТВЕРДЫХ ПИРОТЕХНИЧЕСКИХ ТОПЛИВ

О.В. Кириченко¹, *д-р техн.наук, с.н.с.*, О.С. Диброва¹, Р.Б. Мотричук^{1*}, В.А. Ващенко², *д-р техн.наук, профессор*, С.О. Колинко², *канд. физ.-мат. наук, доцент*

¹*Черкасский институт пожарной безопасности имени Героев Чернобыля Национального университета гражданской защиты Украины*

²*Черкасский государственный технологический университет*

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

порошки алюминий-магниевого сплава, АМС, перхлорат аммония, пха, термическое разложение, пожаровзрывоопасность.

АННОТАЦИЯ

Представлены результаты экспериментальных исследований процессов воспламенения и горения частиц алюминий-магниевого сплава в газообразных продуктах высокотемпературного разложения твердых пиротехнических топлив, приводящие к пожаровзрывоопасному развитию горения. Актуальность проведенных исследований обусловлена широкой областью применения пиротехнических изделий на основе смесей порошков алюминий-магниевого сплава с добавками органических веществ, в частности применением их в военной технике, в осветительных и сигнальных средствах и т.п. Соответственно при пожаре на объектах хранения пиротехнических изделий или во время их транспортировки возникает опасность возгорания пиротехнических смесей в результате которого образуются высокотемпературные продукты сгорания, которые являются источниками воспламенения для окружающих объектов.

Необходимо получение данных о закономерности процесса воспламенения и горения частиц алюминий-магниевого сплава, что определяет возможность прогнозирования пожароопасных свойств пиротехнических смесей. В результате проведенных исследований были получены данные по возгоранию и горению частиц алюминий-магниевого сплава, в частности получена зависимость времени задержки воспламенения частиц алюминий-магниевого сплава от их химического состава, получены данные по процессу горения частиц алюминий-магниевого сплава, а также по влиянию на горение добавок к алюминий-магниевого сплава.