



НАУКОВИЙ ВІСНИК: Цивільний захист та пожежна безпека

№ 1 (9), 2020

НАУКОВИЙ ЖУРНАЛ

ISSN 2518-1777

Редакційна колегія:

головний редактор –
голова редколегії
д-р техн. наук

Поздєєв С.В.

канд. техн. наук
науковий редактор–

Коваленко В.В.

відповідальний секретар
канд. техн. наук

Огурцов С.Ю.

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

Тютюнник В.В.
Цапко 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.

канд. техн. наук
канд. техн. наук
PhDEng.
PhDEng.

Іванов Ю.С.
Навроцький О.Д.
Врублевський Д.
Самберг А.

літературний редактор
(англійська мова)

Івашина Н.О.

Випусковий редактор

Литвиновський Є.Ю.

Адреса редакції:

01011, м. Київ, вул. Рибальська, 18

Телефони:

(+380 44) 280-18-01

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

e-mail: u_secretar@ukr.net, niv1966@ukr.net

Заснований у 2016 році
Виходить 2 рази на рік

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

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

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

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

Наказ Міністерства освіти і науки України
від 02.07.2020 №886

У разі передруковування матеріалів письмовий
дозвіл ІДУ НД ЦЗ є обов'язковим
Рекомендовано до видання рішенням тимчасової
Вченої ради ІДУ НД ЦЗ
Протокол від 21. 10.2020 № 5

Ідентифікатор випуску DOI:
<https://doi.org/10.33269/nvcz.2020.1>

Підписано до друку 02.11.2020

Формат 60 × 84/8.
Наклад 50 прим.

ЗМІСТ	CONTENTS
Л. Калиненко, А. Слюсар, А. Фомін, А. Борисова Спроможності у сфері цивільного захисту	L. Kalynenko, A. Sliusar, A. Fomin, A. Borysova Capability of civil protection
4	
В. Коваленко, Н. Івашина, Я. Балло, В. Коробкін Визначення методу розширеного застосування результатів випробувань покрівель та покрівельних матеріалів (за міжнародним досвідом застосування CEN/TS 1187)	Ya. Ballo, V. Kovalenko, N. Ivashyna, V. Korobkin Determining method of the extended application of test results of roofs and roofing materials (the international experience of application of CEN / TS 1187)
14	
С. Чумаченко, Є. Морщ, А. Михайлова, А. Парталян, Методика комплексного оперативного експертного оцінювання військово-техногенних загроз в зоні проведення операції об'єднаних сил	S. Chumachenko, Ye. Morsch, A. Mykhailova, A. Partalian, Methods of complex operational expert assessment of military-man-made threats in the united forces operation area
23	
С. Мосов, В. Нероба, О. Сєлюков Особливості застосування безпілотного літального апарата в надзвичайних ситуаціях	S. Mosov, V. Neroba, O. Sieliukov Features of using an unmanned aircraft in emergency situations
34	
В. Ніжник, Ю. Фещук, Я. Балло, О. Тесленко, А. Циганков Моделювання оперативної обстановки в зоні відчуження	V. Nizhnyk, Y. Feshchuk, Ya. Ballo, O. Teslenko, A. Tsyhankov Modeling of the operational situation in the exclusion zone
42	
С. Новак, В. Дріжд, О. Добростан Вогнестійкість сталевих повітроводів з комбінованою системою вогнезахисту	S. Novak, V. Drizhd, O. Dobrostan Fire resistance of steel air ducts with combined fire protection system
52	
О. Пазен, Р. Тацій Математичне моделювання процесу теплообміну в багатошаровому суцільному циліндрі з урахуванням внутрішніх джерел тепла	O. Pazen, R. Tatsiy Mathematical modeling of the heat transfer process in the system of multilayer cylindrical solid bodies considering internal sources of heat
66	
В. Присяжнюк, С. Семичаєвський, М. Якіменко, М. Осадчук Аналіз європейських підходів щодо технічних вимог та методів випробувань пожежних плоскоскладаних рукавів для пожежно-рятувальних автомобілів	V. Prisyajnyuk, S. Semychayevsky, M. Yakimenko, M. Osadchuk Analysis of european approaches to technical requirements and testing methods of fire-fighting layflat delivery hoses for fire and rescue vehicles
76	

**О. Сізіков, Я. Балло, С. Голікова,
О. Жихарєв**

Визначення процедури проведення
внутрішнього аудиту з оцінки
протипожежного стану об'єкта захисту

84

**Т. Скоробагатько, О. Добростан,
С. Новак**

Аналіз європейських методів
оцінювання стійкості збірних систем
фасадної теплоізоляції до поширення
вогню

94

А. Борисова, В. Ніжник, Д. Середя

Експериментальні дослідження
залежності критичної поверхневої
густини теплового потоку від
вітрового впливу

107

**O. Sizikov, Ya. Ballo, S. Golikova,
O. Zpikharev**

Determination of the procedure of
conducting an internal audit for the
assessment of the fire condition of the
protection object

T. Skorobagatko, O. Dobrostan, S. Novak

Analysis of the european methods of
evaluation of the resistance of heat
insulation of composite façade systems
to fire propagation

A. Borysova, V. Nizhnyk, D. Sereda,

Experimental research of the surface
heat flux density and in wind conditions

УДК 355.58.001; 351.862.11

Людмила Калиненко,

ORCID iD [0000-0003-2710-1533](https://orcid.org/0000-0003-2710-1533)

Анатолій Слюсар,

ORCID iD [0000-0002-3492-2092](https://orcid.org/0000-0002-3492-2092)

Анатолій Фомін

ORCID iD [0000-0003-0754-1750](https://orcid.org/0000-0003-0754-1750)

Анна Борисова,

ORCID iD [0000-0002-8700-0761](https://orcid.org/0000-0002-8700-0761)

*Інститут державного управління
та наукових досліджень з цивільного
захисту, E-mail: ikalynenko@i.ua*

СПРОМОЖНОСТІ У СФЕРІ ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ

<https://doi.org/10.33269/nvcz.2020.1.4-13>

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції:
01.10.2020

Пройшла рецензування:
16.10.2020

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

Поняття «спроможності»,
спроможності у сфері
безпеки і оборони,
спроможності у сфері
цивільного захисту, базові
компоненти
спроможностей,
функціональні групи
(інтегровані категорії)
спроможностей, каталог
спроможностей, огляд
цивільного захисту.

АНОТАЦІЯ

Перед фахівцями ІДУ НД ЦЗ поставлена задача реально знайти підходи до зовсім нового напрямку у сфері цивільного захисту – оцінювання спроможностей цивільного захисту та підготовки рекомендації, як ці підходи запроваджують. Це потребує значної роботи щодо визначення нових термінів і понять, формулювання основних функціональних спроможностей цивільного захисту та їх особливостей, дослідження властивостей і вимог до спроможностей, їх систематизації за функціональним призначенням, обґрунтування основних функціональних груп.

З метою визначення поняття «спроможності цивільного захисту» авторами опрацьовано декілька законодавчих та нормативно-правових документів щодо цивільного захисту та національної безпеки і оборони, а також зарубіжних документів, у тому числі НАТО, та матеріалів щодо оборонного стратегічного планування на основі спроможностей стосовно збройних сил. Для здійснення оцінки сучасних і перспективних загроз громадській безпеці, населенню і території від надзвичайних ситуацій, розроблення ефективної моделі протидії злочинам проти громадської безпеки та іншим протиправним посяганням необхідно визначення стану спроможності єдиної державної системи цивільного захисту, функціональних та територіальних підсистем, інших сил цивільного захисту до реагування на можливі надзвичайні ситуації з урахуванням потенційних загроз.

У статті визначено поняття «аналіз спроможностей функціональних та територіальних підсистем єдиної державної системи цивільного захисту, сил цивільного захисту», «вимоги до спроможностей», «базові компоненти спроможностей», «функціональні групи (інтегровані категорії) спроможностей», «каталог спроможностей цивільного захисту» тощо.

Постановка проблеми. Закон України «Про національну безпеку України» [1]. визначає основи та принципи національної безпеки і оборони, цілі та основні засади державної політики, що гарантуватимуть суспільству і кожному громадянину захист від загроз. Цим Законом запроваджується всеосяжний підхід до планування у сферах національної безпеки і оборони, Також цим Законом визначено, що сили цивільного захисту входять до складу сектора безпеки і оборони є силами безпеки та започатковано проведення

комплексного огляду сектора безпеки і оборони на основі оцінки спроможностей Збройних сил України (ЗСУ) та цивільного захисту (ЦЗ).

Складовою частиною огляду цивільного захисту України, є огляд спроможностей функціональних та територіальних підсистем Єдиної державної системи цивільного захисту (ЄДСЦЗ).

Вирішення цього питання потребує визначення порядку організації проведення оцінювання спроможностей як

елементу планування на основі спроможностей з урахуванням підходів, прийнятих у державах – членах НАТО.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. З метою визначення поняття «спроможності цивільного захисту» авторами опрацьовано ряд законодавчих та нормативно-правових документів, щодо цивільного захисту та національної безпеки і оборони, зарубіжних документів, зокрема документів НАТО, та статті щодо оборонного стратегічного планування на основі спроможностей збройних сил [1-13].

Термін «спроможність» у сфері цивільного захисту не визначений та на практиці не використовується. Проте у відповідній постанові Кабінету Міністрів України [2] цей термін знаходить своє місце. Згідно з її вимогами передбачається, що при проведенні огляду громадської безпеки та цивільного захисту відповідними фахівцями здійснюється аналіз, оцінка і уточнення необхідних можливостей (спроможностей) Міністерства внутрішніх справ (МВС) за визначеними сценаріями і ситуаціями, визначення спроможності систем оповіщення до здійснення оповіщення органів управління, сил цивільного захисту та населення про загрозу або виникнення надзвичайних ситуацій, проведення **аналізу спроможностей** функціональних та територіальних підсистем ЄДСЦЗ, сил цивільного захисту щодо ефективності та оперативності реагування на прогнозовані надзвичайні ситуації, наслідки військових конфліктів, здатності оперативно розв'язувати завдання за призначенням.

Таким чином, визначення поняття «спроможності у сфері цивільного захисту», та похідних дефініцій «вимоги до спроможностей», «базові компоненти спроможностей», «функціональні групи (інтегровані категорії) спроможностей», «каталог спроможностей цивільного захисту» та методології і методики проведення огляду безпеки у сфері цивільного захисту на основі оцінки

спроможностей є науковою проблемою, вирішенню якої присвячена ця стаття.

Виклад основного матеріалу. Законодавством України [1,2] визначено, що:

сектор безпеки і оборони – це система органів державної влади, Збройних Сил України, інших утворених відповідно до законів України військових формувань, правоохоронних та розвідувальних органів, державних органів спеціального призначення з правоохоронними функціями, сил цивільного захисту, оборонно-промислового комплексу України, діяльність яких перебуває під демократичним цивільним контролем і відповідно до Конституції та законів України за функціональним призначенням спрямована на захист національних інтересів України від загроз, а також громадяни та громадські об'єднання, які добровільно беруть участь у забезпеченні національної безпеки України;

сили безпеки – це правоохоронні та розвідувальні органи, державні органи спеціального призначення з правоохоронними функціями, сили цивільного захисту та інші органи, на які Конституцією та законами України покладено функції із забезпечення національної безпеки України.

стратегія громадської безпеки та цивільного захисту України – це документ довгострокового планування, що розробляється на основі Стратегії національної безпеки України за результатами огляду громадської безпеки та цивільного захисту і визначає напрями державної політики щодо гарантування захищеності життєво важливих для держави, суспільства та особи інтересів, прав і свобод людини і громадянина, цілі та очікувані результати їх досягнення з урахуванням актуальних загроз.

Таким чином Закон [1] визначає роль і місце сил цивільного захисту у забезпеченні національної безпеки України.

Не менш важливим є законодавчо визначене завдання держави [2] щодо

проведення огляду громадської безпеки та цивільного захисту МВС.

Цей Порядок [2] визначає організаційні, методичні засади підготовки і проведення МВС огляду стану захищеності інтересів людини і громадянина, суспільства і держави від суспільно небезпечних діянь, негативного впливу криміногенної ситуації та стану захисту населення і територій від надзвичайних ситуацій.

Також Порядок вводить нові терміни та їх визначення: громадська безпека, огляд громадської безпеки, огляд цивільного захисту, також визначає мету огляду громадської безпеки та цивільного захисту і заходи щодо її досягнення.

Серед інших, завданнями огляду громадської безпеки та цивільного захисту, де вперше зазначається термін «спроможність (можливість)» є:

аналіз, оцінка і уточнення необхідних можливостей (спроможностей) МВС за визначеними сценаріями і ситуаціями;

прогнозування вартісних показників можливостей, ресурсів і видатків, що необхідні для забезпечення безпеки держави;

проведення аналізу ефективності інституційних основ єдиної державної системи цивільного захисту, її структури, управлінських та координуючих органів, розмежування повноважень та функцій між суб'єктами забезпечення цивільного захисту, зокрема з урахуванням заходів щодо реформування місцевого самоврядування та територіальної організації влади в Україні;

визначення спроможності систем оповіщення до здійснення оповіщення органів управління, сил цивільного захисту та населення про загрозу або виникнення надзвичайних ситуацій, своєчасного та достовірного його інформування про фактичну обстановку і вжиті заходи, у тому числі з урахуванням потреб осіб з інвалідністю та інших маломобільних груп населення;

проведення аналізу спроможностей функціональних та територіальних підсистем єдиної державної системи

цивільного захисту, сил цивільного захисту щодо ефективності та оперативності реагування на прогнозовані надзвичайні ситуації, наслідки військових конфліктів, здатності оперативно розв'язувати завдання за призначенням;

визначення мобілізаційних можливостей ЄДСЦЗ, стану унормування питань фінансового і матеріально-технічного забезпечення заходів цивільного захисту в особливий період, створення та розвитку резерву служби цивільного захисту, унормування механізму проведення цільової мобілізації;

Отже, термін «спроможність (можливість)» та пов'язані з ним категорії потребують категоріально-поняттєвого обґрунтування.

На основі проведеного аналізу [1-13] та власного теоретичного дослідження пропонуємо таку термінологію.

Спроможність – це здатність структурної одиниці (елементу) ЄДСЦЗ або сукупності сил і засобів цивільного захисту оперативно розв'язувати завдання за призначенням (забезпечувати реалізацію визначених цілей) за певних умов обстановки, ресурсного забезпечення та відповідно до встановлених стандартів.

Базові компоненти (складові) спроможностей:

нормативна база – наявність концепцій, стратегій, статутів, положень, настанов, правил застосування, інструкцій та інших керівних документів;

організація – наявність організаційної структури відповідних сил і засобів ЦЗ, які створюють відповідну спроможність;

підготовка – наявність системи підготовки відповідних сил, що створюють певну спроможність, індивідуальна та колективна підготовка керівного складу та фахівців, підготовка органів управління ЦЗ та аварійно-рятувальних -формувань;

ресурсне забезпечення – забезпеченість необхідним оснащенням і технікою, обладнанням, запасами матеріально-технічних засобів (МТЗ) та витратних матеріалів, а також фінансовими ресурсами;

кадрове забезпечення - наявність

належного кадрового потенціалу усіх ланок;

інфраструктура – наявність об'єктів і окремих споруд, призначених для забезпечення виконання силами покладених завдань, а також для розміщення та забезпечення їх життєдіяльності;

сумісність – нормативна, оперативна та технічна сумісність сил і засобів для спільних дій у складі угруповання.

Базові компоненти (складові) спроможностей є визначальними для їх створення, розвитку та оцінювання.

Вимоги до спроможностей – перелік умов (тактичних, технічних, спеціальних, фізичних тощо), критеріїв та показників виконання завдань, що містяться в ситуаціях за сценаріями розвитку загроз та в керівних документах.

Ефект – зміна умов, способів дій та ступеня свободи дій, або ступінь впливу створених (досягнутих) спроможностей (можливостей) на здатність структурної одиниці сил ЦЗ, яка є носієм спроможностей, виконати поставлені завдання.

Імовірний сценарій виникнення та розвитку загрози (небезпечної події), що потребує застосування (залучення) сил та засобів ЦЗ – змодельований або прогнозований розвиток ситуації або подій, що можуть виникнути внаслідок реалізації загроз у сфері цивільного захисту (природних, техногенних явищ) та потребує застосування (залучення) сил і засобів.

Каталог спроможностей цивільного захисту – документ, що містить перелік основних спроможностей (оперативних, технічних, спеціальних, фізичних тощо), опис їх характеристик та вимог до них. Каталог формується для використання в ході планування застосування сил ЦЗ, підготовки сил та проведення навчань, розвитку науки та технологій у сфері ЦЗ, оснащення та техніки, а також для програм державних закупівель.

Функціональні групи (інтегровані категорії) спроможностей:

забезпечення готовності сил ЦЗ –

охоплює інституційні спроможності з ЦЗ менеджменту (керівництва ЄДСЦЗ), підготовки ЄДСЦЗ до дій в умовах НС, генерування сил, менеджменту персоналу та забезпечення соціального захисту рятувальників та членів їх сімей;

співробітництво у сфері безпеки і оборони – охоплює спроможності із забезпечення регіональної безпеки, зокрема шляхом надання (отримання) допомоги з нарощення (розвитку) оперативних спроможностей країн-партнерів, а також спроможностей національних сил і засобів;

розгортання та мобільність формувань ЦЗ – охоплює спроможності засобів доставляння, підготовки сил ЦЗ до висування/перекидання у райони призначення та організації базування з урахуванням визначених термінів готовності;

застосування – охоплює спроможності формувань підрозділів ЦЗ з виконання основних завдань за призначенням як самостійно, так і у складі об'єднаних угруповань;

забезпечення – охоплює спроможності у сфері спеціального, тилового, технічного та медичного забезпечення;

захист населення і територій – охоплює спроможності сил ЦЗ щодо організаційних та інженерно-технічних заходів, спрямованих на запобігання виникненню надзвичайних ситуацій, забезпечення захисту територій, населених пунктів та суб'єктів господарювання від їх наслідків та небезпеки;

керівництво та управління – охоплює спроможності органів управління ЦЗ державного, регіонального, місцевого та об'єктового рівнів з управління застосуванням сил ЦЗ;

захист та живучість – охоплює спроможності сил ЦЗ щодо забезпечення власного захисту від загроз уражальних факторів НС;

розвідка – охоплює спроможності з ведення розвідки, спостереження та лабораторного контролю на усіх рівнях управління ЦЗ;

стратегічне управління ресурсами –

охоплює інституційні спроможності щодо нормативно-правового забезпечення, здійснення аудиту, інспектування та всеохоплюючого оцінювання (оглядів), розроблення стратегій, планування розвитку спроможностей, організація закупівель, програмного менеджменту та ресурсного забезпечення, бюджетне планування та облік.

Кожна з функціональних груп спроможностей в ході аналізу деталізується. Деталізація має за мету визначення необхідних (наявних) спроможностей на державному, регіональному, місцевому та об'єктовому рівнях. На кожному з рівнів може бути декілька груп (підгруп) спроможностей.

Розподіл спроможностей на групи дозволяє полегшити ідентифікацію та планування їх формування, утримання, нарощування (модернізацію). Така деталізація дозволяє визначити перелік об'єднаних спроможностей та конкретні спроможності (завдання) силами ЦЗ.

Оцінювання спроможностей. Оцінювання наявних спроможностей здійснюється органами управління ЦЗ усіх рівнів, керівниками структурних підрозділів та організацій в процесі проведення огляду цивільного захисту на основі спроможностей (1 раз на 2-3 роки за рішенням МВС (Голови ДСНС), а також за необхідністю).

Оцінювання здійснюється за усіма базовими компонентами (складовими) спроможностей та передбачає оцінювання:

чинних законодавчих, нормативно-правових, розпорядчих документів, які застосовуються (щодо підготовки, застосування, організації повсякденної діяльності підрозділу (структурного елементу) тощо);

організаційної структури і складу наявних формувань (підрозділів) ЦЗ щодо їх здатності виконувати завдання за кожним імовірним сценарієм НС з необхідним рівнем ефективності;

рівня підготовки особового складу до виконання завдань за призначенням;

забезпеченості необхідними зразками аварійно-рятувальної, пожежної техніки та

аварійно-рятувального та протипожежного обладнання для виконання завдань за прогнозованими сценаріями кризових ситуацій, з урахуванням їх технічного стану та термінів експлуатації;

стану та здатності систем матеріально-технічного забезпечення (логістики), медичного забезпечення до виконання завдань за ситуаціями, у тому числі наявності запасів;

якості спеціальної освіти та науки, її здатності забезпечити належний рівень професійної підготовки персоналу і обґрунтування розвитку та застосування сил ЦЗ;

наявності кваліфікованого та мотивованого персоналу;

наявної інфраструктури і її здатності забезпечувати життєдіяльність формувань (підрозділів) ЦЗ та виконання ними завдань за призначенням.

Процедура оцінювання здійснюється шляхом порівняння необхідних спроможностей для виконання завдань за кожним імовірним сценарієм розвитку кризових ситуацій та наявних спроможностей сил і засобів.

Результатом оцінювання (висновками) може бути:

відповідність наявних спроможностей завданням за сценаріями;

незначне перевищення необхідних спроможностей (більшість наявних сил і засобів можуть використовуватися для вирішення завдань у прогнозованих ситуаціях, решта є надлишковими);

перевищення необхідних спроможностей (близько половини наявних сил і засобів можуть бути використані для вирішення завдань у прогнозованих сценаріях, решта є надлишковими);

суттєве перевищення необхідних спроможностей (тільки незначна частина наявних сил і засобів може використовуватися для вирішення завдань у прогнозованих ситуаціях, решта є надлишковими);

критичне перевищення необхідних спроможностей (наявні сили і засоби взагалі не потрібні для вирішення завдань

за відповідними сценаріями);

незначна нестача необхідних спроможностей (наявних сил і засобів для виконання завдань за відповідними сценаріями);

нестача необхідних спроможностей (близько половини наявних сил і засобів не вистачає для виконання завдань за сценаріями);

суттєва нестача необхідних спроможностей (незначна частина наявних сил і засобів може використовуватися);

критична нестача необхідних спроможностей – повна відсутність наявних сил і засобів для виконання завдань за сценаріями.

Результат оцінювання спроможностей за кожною ситуацією (відповідним сценарієм) зводиться в єдину базу даних з метою визначення комплексу заходів для досягнення необхідних спроможностей.

Зазначений комплекс заходів визначається за базовими компонентами (складовими) спроможностей та можуть містити заходи:

приведення вимог законодавчих, нормативно-правових, розпорядчих документів щодо підготовки та застосування сил ЦЗ у відповідність з вимогами до спроможностей для виконання завдань за сценаріями;

переходу від однієї організаційної структури до нової, що відповідатиме вимогам до спроможностей для виконання завдань за призначенням;

удосконалення системи підготовки персоналу, підрозділів, формувань та органів управління ЦЗ;

належного забезпечення необхідною аварійно-рятувальною та пожежною технікою, обладнанням, МТЗ та витратними матеріалами, а також фінансовими ресурсами;

створення (підтримання) інтегрованої системи логістичного забезпечення, медичного забезпечення, створення, утримання та оновлення запасів МТЗ;

забезпечення належного рівня розвитку освіти та науки, проведення наукових досліджень з проблематики розвитку ЦЗ,

науково-методологічного обґрунтування нових форм та методів організації ЦЗ, виконання аварійно-рятувальних робіт, розробки нових видів (зразків) аварійно-рятувальної та пожежної техніки з урахуванням ресурсних можливостей держави;

удосконалення системи кадрового забезпечення з метою досягнення належного рівня професійної компетентності керівного складу та персоналу, створення мотивації та умов залучення кваліфікованого цивільного персоналу для виконання завдань ЦЗ тощо; удосконалення соціальної та гуманітарної політики;

створення, підтримання та модернізації існуючої інфраструктури;

досягнення доктринальної, оперативної та технічної сумісності складових сил ЦЗ з іншими складовими сектора безпеки та оборони.

За результатами оцінювання також приймається рішення щодо: утримання наявних спроможностей; нарощування (модернізація) спроможностей; формування нових спроможностей; позбавлення від надлишкових спроможностей.

Утримання наявних спроможностей включає проведення заходів за визначеними їх базовими компонентами (складовими) з метою забезпечення необхідного стану і здатності наявних сил і засобів виконувати завдання за прогнозованими сценаріями.

Нарощування (модернізація) наявних спроможностей означає поповнення їх існуючими силами і засобами з метою досягнення достатнього рівня спроможностей для виконання завдань за сценаріями. При цьому можливе якісне оснащення та удосконалення складу і структури існуючих формувань (підрозділів).

Формування нових спроможностей, як правило, вимагає створення нових підрозділів ЦЗ (переформування існуючих), нових видів спеціальної техніки, управління та інших складових

для виконання завдань за прогнозованими сценаріями.

Позбавлення від надлишкових спроможностей підрозділів ЦЗ передбачає: вивільнення їх від виконання окремих функцій; скорочення підрозділів; оптимізацію інфраструктури.

На підставі такого аналізу визначається обсяг ресурсів і їх вартість (потреба в ресурсах) на формування, утримування, нарощування, позбавлення від спроможностей.

Визначені потреби в ресурсах є вихідними даними для середньострокового та короткострокового планування.

Висновки. Таким чином, для здійснення оцінки сучасних і перспективних загроз громадській безпеці, населенню і території від надзвичайних ситуацій необхідно визначити стан готовності центральних органів виконавчої влади, діяльність яких спрямовується та координується Кабінетом Міністрів України через Міністра внутрішніх справ, до забезпечення громадської безпеки та цивільного захисту на основі визначених спроможностей єдиної державної системи цивільного захисту, сил цивільного захисту до реагування на можливі надзвичайні ситуації з урахуванням потенційних загроз. У статті визначено основні поняття для оцінювання спроможностей цивільного захисту: «аналіз спроможностей функціональних та територіальних підсистем єдиної державної системи цивільного захисту, сил цивільного захисту», «вимоги до спроможностей», «базові компоненти спроможностей», «функціональні групи (інтегровані категорії) спроможностей», «каталог спроможностей цивільного захисту» тощо.

За результатами роботи буде розроблено структуру Каталогу спроможностей цивільного захисту та Рекомендації щодо проведення суб'єктами забезпечення цивільного захисту визначення та огляду спроможностей функціональних та територіальних підсистем ЄДСЦЗ, сил і засобів цивільного захисту, що в перспективі має забезпечити

проведення оцінювання спроможностей ЦЗ, як елементу планування на основі спроможностей з урахуванням підходів, прийнятих у державах - членах НАТО, а також формування в ЄДСЦЗ, органах управління, установах, організаціях спільного розуміння щодо підходів до впровадження такого планування та порядку його здійснення.

Результати проведених досліджень свідчать про необхідність створення нормативно-правової бази у цій сфері, починаючи з понятійного апарату, механізму визначення та оцінювання спроможностей ЦЗ, формулювання єдиної термінології, принципів та завдань, порядку застосування визначених процедур, моніторингу та розвитку спроможностей у процесі поступового переходу на відповідну методологію планування на основі спроможностей ЦЗ.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Про національну безпеку України : Закон України від 21.06.2018 № 2469-VIII // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/card/2469-19> (дата звернення 20.10.2020).
2. Про затвердження Порядку проведення огляду громадської безпеки та цивільного захисту Міністерством внутрішніх справ : постанова Кабінету Міністрів України від 22 травня 2019 р. № 507 // База даних «Законодавство України» / ВР України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/507-2019-%D0%BF#Text> (дата звернення 20.10.2020).
3. Кодекс цивільного захисту України: Закон України від 02.10.2012 №5403-VI // База даних «Законодавство України» / Верховна Рада України. – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/card/5403-17> (дата звернення 20.10.2020).
4. Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 6 травня 2015 року «Про Стратегію національної безпеки України : Указ Президента України від 26 травня 2015 року № 287/2015 // База даних «Законодавство України». / ВР України. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/card/287/2015> (дата звернення: 20.10.2020).
5. Про рішення Ради національної безпеки і оборони України від 4 березня 2016 року «Про Концепцію розвитку сектору безпеки і оборони України» : Указ Президента України від 14 березня 2016 року № 92 // База даних «Законодавство України» / ВР України. URL: <https://www.president.gov.ua/documents/922016-19832> (дата звернення: 20.10.2020).
6. Про організацію планування в секторі безпеки і оборони України: Указ Президента України від 16 травня 2019 року № 225 // Офіційне інтернет-представництво / Президент України. URL : <https://www.president.gov.ua/documents/2252019-26835> (дата звернення 20.10.2020).
7. Про затвердження Порядку класифікації надзвичайних ситуацій техногенного та природного характеру за їх рівнями : постанова Кабінету Міністрів України від 24 березня 2004 р. № 368 // База даних «Законодавство України» / ВР України : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/card/368-2004-%D0%BF> (дата звернення 20.10.2020).
8. Про організацію оборонного планування в Міністерстві оборони України і Збройних Силах України у 2018 році на 2019-2021 роки: наказ від 19 грудня 2017 року № 670 / Міністерство оборони України. URL : https://www.mil.gov.ua/content/nakaz_moy/mou_670_19.pdf (дата звернення: 20.10.2020).
9. Рекомендації з оборонного планування на основі спроможностей в Міністерстві оборони України та Збройних Силах України / Міністерство оборони України. Київ, 2017. URL : https://www.mil.gov.ua/content/other/Recommendationson_CBP_120617.pdf (дата звернення: 20.10.2020).
10. Оборонний огляд: український вимір 2014 – 2018 : монографія / Ф.Саганюк, А. Павліковський, П. Щипанський та ін. за заг.ред. І. Руснака. Київ: МО та ГШ ЗС України, НУОУ, 2019. 196 с.
11. Henry C. Bartlett, G. Paul Holman, Jr., and Timothy E. Somes The Art of Strategy and Force Planning, in Strategy and Force Planning, 4th edition. Newport, R.I.: Naval War College Press, 2004. Pp. 17-33.
12. Handbook on Long Term Defence Planning, RTO Technical Report 69. Paris: NATO Research and Technology Organization, April 2003. URL : www.rta.nato.int/pubs/rdp.asp?RDP=RTO-TR-069 (дата звернення 20.10.2020).
13. Guide to Capability-Based Planning, TR-JSA-TP3-2-2004. The Technical Cooperation Program. Joint Systems and Analysis Group. Technical Panel 3. MORS Workshop, October 2004). URL : www.mors.org/meetings/cbp/read/TP-3_CBP.pdf. (дата звернення: 20.10.2020).
14. Tagarev Todor The Art of Shaping Defense Policy: Scope, Components, Relationships (but no Algorithms). Connections: *The Quarterly Journal* 5, no. 1. Spring-Summer 2006. Pp. 15-34. URL: http://procon.bg/bg/system/files/05.1.03_tagarev.pdf (дата звернення 20.10.2020).
15. Поліщук В.Б., Нетесін І.Є., Нестеренко О.В. Інформаційні технології в управлінні оборонними ресурсами: методологічний контекст та приклади практичної реалізації : монографія. Київ УкрНЦ ПІТ, 2019.120 с.

REFERENCES

1. Pro natsionalnu bezpeku Ukrainy : Zakon Ukrainy vid 21.06.2018 № 2469-VIII // Baza danykh «Zakonodavstvo Ukrainy» / Verkhovna Rada Ukrainy. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/card/2469-19> (data zvernennia 20.10.2020) [In Ukrainian].
2. Pro zatverdzhennia Poriadku provedennia ohliadu hromadskoi bezpeky ta tsyvilnoho zakhystu Ministerstvom vnutrishnikh sprav : postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 22 travnia 2019 r. № 507 // Baza danykh «Zakonodavstvo Ukrainy» / VR Ukrainy. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/507-2019-%D0%BF#Text> (data zvernennia 20.10.2020) [In Ukrainian].
3. Kodeks tsyvilnoho zakhystu Ukrainy: Zakon Ukrainy vid 02.10.2012 №5403-VI // Baza danykh «Zakonodavstvo Ukrainy» / Verkhovna Rada Ukrainy. – URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/card/5403-17> (data zvernennia 20.10.2020) [In Ukrainian].
4. Pro rishennia Rady natsionalnoi bezpeky i oborony Ukrainy vid 6 travnia 2015 roku «Pro Stratehiuu natsionalnoi bezpeky Ukrainy : Ukaz Prezydenta Ukrainy vid 26 travnia 2015 roku № 287/2015 // Baza danykh «Zakonodavstvo Ukrainy». / VR Ukrainy. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/card/287/2015> (data zvernennia: 20.10.2020) [In Ukrainian].
5. Pro rishennia Rady natsionalnoi bezpeky i oborony Ukrainy vid 4 bereznia 2016 roku «Pro Kontseptsiuu rozvytku sektoru bezpeky i oborony Ukrainy» : Ukaz Prezydenta Ukrainy vid 14 bereznia 2016 roku № 92 // Baza danykh «Zakonodavstvo Ukrainy» / VR Ukrainy. URL: <https://www.president.gov.ua/documents/922016-19832> (data zvernennia: 20.10.2020) . [In Ukrainian].
6. Pro orhanizatsiiu planuvannia v sektori bezpeky i oborony Ukrainy: Ukaz Prezydenta Ukrainy vid 16 travnia 2019 roku № 225 // Ofitsiine internet-predstavnytstvo / Prezydent Ukrainy. URL : <https://www.president.gov.ua/documents/2252019-26835> [In Ukrainian].
7. Pro zatverdzhennia Poriadku klasyfikatsii nadzvychainykh sytuatsii tekhnohennoho ta pryrodnoho kharakteru za yikh rivniamy : postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 24 bereznia 2004 r. № 368 // Baza danykh «Zakonodavstvo Ukrainy» / VR Ukrainy : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/card/368-2004-%D0%BF> (data zvernennia 20.10.2020) [In Ukrainian]. .
8. Pro orhanizatsiiu oboronnoho planuvannia v Ministerstvi oborony Ukrainy i Zbroinykh Sylakh Ukrainy u 2018 rotsi na 2019-2021 roky: nakaz vid 19 hrudnia 2017 roku № 670 / Ministerstvo oborony Ukrainy. URL : https://www.mil.gov.ua/content/nakaz_moy/mou_670_19.pdf (data zvernennia: 20.10.2020) [In Ukrainian].
9. Rekomendatsii z oboronnoho planuvannia na osnovi spromozhnosti v Ministerstvi oborony Ukrainy ta Zbroinykh Sylakh Ukrainy / Ministerstvo oborony Ukrainy. Kyiv, 2017. URL : https://www.mil.gov.ua/content/other/Recommendationson_CBP_120617.pdf (data zvernennia: 20.10.2020) [In Ukrainian].
10. Oboronnyi ohliad: ukraïnskyi vymir 2014 – 2018 : monohrafiia / F.Sahaniuk, A. Pavlikovskyi, P. Shchypanskyi ta in. za zah.red. I. Rusnaka. Kyiv: MO ta HSh ZS Ukrainy, NUOU, 2019. 196 s. [In Ukrainian].
11. Henry C. Bartlett, G. Paul Holman, Jr., and Timothy E. Somes The Art of Strategy and Force Planning, in Strategy and Force Planning, 4th edition. Newport, R.I.: Naval War College Press, 2004. Pp. 17-33.
12. Handbook on Long Term Defence Planning, RTO Technical Report 69. Paris: NATO Research and Technology Organization, April 2003. URL : www.rta.nato.int/pubs/rdp.asp?RDP=RTO-TR-069 (data zvernennia 20.10.2020).
13. Guide to Capability-Based Planning, TR-JSA-TP3-2-2004. The Technical Cooperation Program. Joint Systems and Analysis Group. Technical Panel 3. MORS Workshop, October 2004). URL : www.mors.org/meetings/cbp/read/TP-3_CBP.pdf (data zvernennia: 20.10.2020).
14. Tagarev Todor The Art of Shaping Defense Policy: Scope, Components, Relationships (but no Algorithms). Connections: *The Quarterly Journal* 5, no. 1. Spring-Summer 2006. Pp. 15-34. URL: http://procon.bg/bg/system/files/05.1.03_tagarev.pdf (data zvernennia 20.10.2020).
15. Polishchuk V.B., Netesin I.Ie., Nesterenko O.V. Informatsiini tekhnolohii v upravlinni oboronnymy resursamy: metodolohichniy kontekst ta pryklady praktychnoi realizatsii : monohrafiia. Kyiv UkrNTs RIT, 2019.120 s. [In Ukrainian].

CAPABILITY OF CIVIL PROTECTION

L. Kalynenko, A. Sliusar, A. Fomin, A. Borysova

Institute of Public Administration and Research in Civil Protection, Ukraine

KEYWORDS

capability" concepts, security and defense capabilities, civil protection capabilities, basic capability components, functional groups (integrated categories) of capabilities, capability catalog, civil protection overview.

ANNOTATION

The specialists of *Institute of Public Administration and Research in Civil Protection* are tasked to actually find approaches to a completely new direction in the sphere of civil protection - assessing the capabilities of civil protection and preparing recommendations on how to implement these approaches. This requires significant work on the definition of new terms and concepts, the formulation of the main functional capabilities of civil protection and their features, the study of properties and requirements for capabilities, their systematization by functional purpose justification of the main functional groups.

The purpose of the article is to acquaint the interested audience with new concepts and approaches for the sphere of civil protection. In order to define the concept of "civil protection capability", the authors have worked out a number of laws and regulations on civil defense and national security and defense, as well as foreign documents, including NATO, and materials on defense strategic planning based on capabilities of the armed forces.

To assess current and future threats to public safety, the population and the territory from emergencies, to develop an effective model for combating crimes against public safety and other illegal encroachments, it is necessary to determine the state of the unified state civil defense system, functional and territorial subsystems and other civil defense forces. for possible emergencies, taking into account potential threats.

The article defines the concept of " capability analysis of functional and territorial subsystems of a single state civil protection system, civil protection forces", "capability requirements", "basic components of capabilities", "functional groups (integrated categories) of capabilities", "catalog of civil protection capabilities" etc.

УДК 614.841.34

Віталій Коваленко, канд. техн. наук,
старш. наук. співроб.,

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

Наталія Івашина,

ORCID iD [0000-0001-6858-0492](https://orcid.org/0000-0001-6858-0492)

Ярослав Балло, канд. техн. наук,

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

Валерій Коробкін

ORCID iD [0000-0003-1613-4006](https://orcid.org/0000-0003-1613-4006)

Інститут державного управління

та наукових досліджень з цивільного захисту,

E-mail: balloy.ua@gmail.com

ВИЗНАЧЕННЯ МЕТОДУ РОЗШИРЕНОГО ЗАСТОСУВАННЯ РЕЗУЛЬТАТІВ ВИПРОБУВАНЬ ПОКРІВЕЛЬ ТА ПОКРІВЕЛЬНИХ МАТЕРІАЛІВ (ЗА МІЖНАРОДНИМ ДОСВІДОМ ЗАСТОСУВАННЯ CEN/TS 1187)

<https://doi.org/10.33269/nvcz.2020.1.14-22>

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 03.09.2020

Пройшла рецензування: 26.09.2020

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

аналіз, випробування, досвід,
метод, пожежна небезпека,
покрівельні матеріали,
розширене застосування

АНОТАЦІЯ

Наведено аналіз міжнародного досвіду застосування методів випробувань згідно з CEN/TS 1187.

З урахуванням розрахунків пожежної навантаги джерел запалювання, аналізу результатів випробувань проведених EGOLF та моделювання вогневих процесів обґрунтовано доцільність запровадження в Україні окремого методу для розширеного застосування результатів випробувань покрівельних матеріалів.

Постановка проблеми. На території України діють стандарти Європейського союзу, що прийняті в Україні як національні (прийнято методом підтвердження) [1, 2], однак відсутній стандарт щодо розширеного застосування результатів випробувань [3]. У роботі [4] наголошувалось, що з метою гармонізації європейських підходів у сфері забезпечення пожежної безпеки покрівель та покрівельних матеріалів в Україні потребують запровадження методи щодо розширеного застосування результатів випробувань покрівель на пожежну небезпеку. ДСТУ CEN/TS 1187:2016 [1] встановлює 4 метода випробувань. На сьогодні в Україні існує потреба не тільки запровадження стандарту щодо розширеного застосування результатів випробувань [3], але й визначення доцільності використання одного з чотирьох методів згідно з ДСТУ CEN/TS 1187:2016 [1]. Такий напрямок проведення прикладних наукових досліджень на

забезпечення пожежної безпеки, а також гармонізації національної нормативно-технічної бази з міжнародними та європейськими нормативними документами є подальшим удосконаленням нормативної бази з вимог пожежної безпеки.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

Дослідження пожежонебезпечних властивостей будівельних матеріалів здійснюється в декількох напрямках. В .І. Згуря у дисертаційному дослідженні розкрив удосконалення системи визначення пожежонебезпечних властивостей речовин, матеріалів та будівельних конструкцій [5]. У роботі [4] наведено аналіз наукових статей та нормативних документів щодо вимог пожежної безпеки до покрівель та покрівельних матеріалів і методів випробувань покрівельних матеріалів на пожежну небезпеку, а також наголошувалось на наукові праці О. В. Стукаленко, М. Л. Гринберга,

Н. Г. Салухіна, О. М. Язвінської, І. О. Харченко, М. В. Гравіта, О. В. Недришкіна, А. А. Вайтицького, А. М. Шпакової, Д. Г. Нигматуллиної, В. В. Ніжника О. О. Сізікова, що були присвячені гармонізації стандартів у будівельній галузі ЄС в Україні та визначили проблеми гармонізації методів дослідження і класифікації. Значний досвід проведення досліджень щодо застосування методів випробувань покрівельних матеріалів має EGOLF [6]. Разом з тим, запропонована тема залишається недостатньо розробленою, дослідження пожежонебезпечних властивостей покрівельних матеріалів здійснюється несистемно. Дана робота є продовженням [4, 7] та проводиться у рамках науково-дослідної роботи [8].

Метою статті є аналіз міжнародного досвіду застосування методів випробувань згідно з CEN/TS 1187 [9] для обґрунтування та визначення в Україні доцільності запровадження окремого методу розширеного застосування результатів випробувань покрівель та покрівельних матеріалів на пожежну небезпеку. Спрямованість роботи на подальшу гармонізацію національної нормативно-технічної бази з міжнародними та європейськими нормативними документами створює передумови підвищення рівня пожежної безпеки будівельних покрівельних матеріалів та підтверджує її актуальність.

Виклад основного матеріалу. Аналіз міжнародного досвіду застосування методів випробувань покрівель та покрівельних матеріалів [6] показав неоднозначність застосування методів на території інших країн. Чотири методи CEN/TS 1187 [9] не мають порядку застосування. Застосовуючи дані чотири методи, можна випробовувати покрівлі за таких умов:

метод № 1 – випробування з використанням джерела вогневого впливу;

метод № 2 – випробування з використанням джерела вогневого впливу та повітряного потоку;

метод № 3 – випробування з використанням джерела вогневого впливу, повітряного потоку та додаткового теплового випромінювання;

метод № 4 – двостадійний метод випробування з використанням джерела вогневого впливу, повітряного потоку та додаткового теплового випромінювання.

Кожен метод незалежний, без можливості заміни або заміни одного методу іншим. Держави-члени можуть вільно обирати метод, який можна застосовувати на їх території. Тому перший метод був обраний Німеччиною, Австрією, Бельгією, Польщею, другий метод – скандинавськими країнами, третій – Францією, четвертий – Великобританією. В рамках Комітету CEN 127 ведеться робота по розробці спільної європейської методології досліджень. Різниця в наведених методах наведена у [7] та розділі 1 звіту [8]. Слід відмітити, що особливої уваги та аналізу потребує тепловий вплив на зразки.

Так, відповідно до методу №1 CEN/TS 1187 [9], випробування проводяться лише з використанням джерела вогневого впливу, до методу № 2 CEN/TS 1187 – випробування проводять з використанням джерела вогневого впливу та повітряного потоку, до методу № 3 CEN/TS 1187 – випробування проводять з використанням джерела вогневого впливу, повітряного потоку та додаткового теплового випромінювання, до методу № 4 CEN/TS 1187 – це двостадійний метод випробувань з використанням джерела вогневого впливу, повітряного потоку та додаткового теплового випромінювання.

Для визначення характеристик пожежної навантаги джерел запалювання проведено відповідні розрахунки за чотирма методами. Згідно з [10] пожежне навантаження, пожежна навантага – це кількість теплоти, що може виділитися у разі повного згоряння всіх матеріалів, що знаходяться в приміщенні (об'ємі), включаючи поверхні стін, перегородок, підлоги та стелі. Пожежну навантагу Q , МДж [11], складові якої є тверді й рідкі легкозаймисті, горючі та важкогорючі речовини і/або матеріали у межах

пожежонебезпечної ділянки, визначають за формулою:

$$Q = \sum_{i=1}^n G_i Q_i^p \quad (1)$$

де, G_i – кількість i -ої складової пожежної навантаги, кг;

Q_i^p – найнижча теплота згоряння i -ої складової пожежної навантаги, МДж·кг⁻¹.

Питому пожежну навантагу g , МДж·м⁻², визначають із співвідношення (2)

$$g = \frac{Q}{F_{пн}} \quad (2)$$

де, Q – пожежна навантага, МДж;

$F_{пн}$ – площа розміщення пожежної навантаги, м²

Проведені розрахунки джерела запалювання за чотирма методами надані у табл. 1.

Таблиця 1 – Розрахунки джерела запалювання за методами ДСТУ CEN/TS 1187:2016

Методи ДСТУ CEN/TS 1187	Пожежна навантага, МДж·кг ⁻¹	Питома теплота згоряння, МДж·кг ⁻¹	Розмір джерела запалювання, мм	Питоме пожежне навантаження, МДж·м ⁻²
1	5,82	9,7	300 × 300	64,7
2	0,714	10,2	100 × 100	71,4
3	0,45	10,2	55 × 55	74,8

Проведений розрахунок джерела запалювання за методом № 4 [1] здійснювався наступним чином. Відповідно до [1] у пальнику застосовується газова суміш у наступних пропорціях: природний газ (CH₄) – 27,4%, водень (H₂) – 55,2%, азот (N₂) – 17,4 %. Із розрахунку отримуємо, що вища теплота згоряння газової суміші складає 24793 кДж·м⁻³, а нижча теплота згоряння – 17116 кДж·м⁻³. Слід зазначити, що у процесі випробувань за методом 2 – 4 є присутній повітряний потік, а під час випробувань за методами 3 та 4 використовується додатковий тепловий потік потужністю (10 – 12) кВт/м². Варто звернути увагу на той факт, що відхилення в значенні теплоти згорання знаходиться в межах 8 %. Метод №4 випробування не враховувався, у зв'язку з відмінним джерелом запалювання та способом його прикладання.

Також здійснено аналіз результатів порівняльних випробувань проведених EGOLF [12] протягом занять на курсах за CEN/TS 1187 тестами 1 та 2. У рамках виконання науково-дослідної роботи [4] проаналізовано проведення випробувань [12] за двома методами чотирьох зразків, а саме:

зразок № 1: лист гідроізоляційного покриття ПВХ на підкладці EPS з шаром скловолосна між ними;

зразок № 2: лист гідроізоляційного покриття ПВХ на підкладці EPS з мінеральної вати;

зразок № 3: бітумний гідроізоляційний лист на підкладці EPS;

зразок № 4: бітумний гідроізоляційний лист на підкладці з мінеральної вати.

Випробування проводилися згідно з описами, наведеними в CEN/TS 1187 [9]. Випробування 1 – тест із використанням джерела вогневого впливу (колишній німецький метод випробування). Результати: виміряні результати випробувань з випробування 1 згідно з пунктом 4.8 в CEN/TS 1187 [9], які фіксувалися: зовнішній вогонь поширився вгору; внутрішній вогонь поширився вгору; зовнішній вогонь поширився вниз; внутрішній вогонь поширився вниз; максимальна довжина горіння зовнішня; максимальна довжина внутрішнього згоряння; матеріал, що спалює, що падає з відкритої сторони; матеріал, що горить, проникаючи в конструкцію даху; область єдиного відкриття; сума площі відкриття; бічний вогонь поширився на краї вимірювальної зони; внутрішнє світіння; максимальний радіус поширення вогню, зовнішній і внутрішній.

Випробування 2 – тест із з використанням джерела вогневого впливу та повітряного потоку (колишній скандинавський метод випробування). Результати: визначено всі виміряні результати випробувань із випробування 2 згідно CEN/TS 1187 при швидкостях вітру 2 м/с та 4 м/с: обсяг пошкоджень у гідроізоляційному листі покрівлі; обсяг пошкодження в підкладці; максимальний ступінь пошкодження гідроізоляційного листа покрівлі; максимальний ступінь пошкодження підкладки.

На рис. 1 показано типові пошкоджені екземпляри (метод випробування 1, зразок 1: покриття ПВХ на ізоляції EPS зі скловолокном між шарами. Пошкоджений гідроізоляційний матеріал покриття зверху, пошкоджена ізоляція EPS знизу).

Інші результати випробувань та фото пошкоджених чотирьох зразків матеріалів наведені у [4, 10].

Відповідно до [6, 12] аналіз результатів показав, що більшість лабораторій EGOLF, що беруть участь у порівняльних випробуваннях, отримують результати у прийнятних межах при тестуванні відповідно до CEN/TS 1187 методу випробувань 1 та методу тестування 2 [9]. Однак, повторюваність та відтворюваність методу № 1 оцінюються як відносно низькі.

Для обох методів було встановлено, що необхідні конкретні вказівки та навчання для визначення деяких результатів тесту на основі спостережень, а також може бути корисно запропонувати зміни до технічної специфікації CEN/TS 1187, які допоможуть уникнути зайвих змін у результатах випробувань.



Рисунок 1 – Результати випробування покриття ПВХ на ізоляції EPS зі скловолокном між шарами за методом 1.

Також здійснено моделювання вогневих процесів теплопередачі між джерелом теплового випромінювання та суміжними об'єктами за допомогою польової моделі програми FDS (Fire Dynamics Simulator) розробленої Національним інститутом стандартів і технологій (National Institute of Standards and Technology – NIST, США) [13–15] з врахуванням положень вітчизняних вимог. Для відображення та візуалізації результатів моделювання програми FDS використовується програма SmokeView. Детальний звіт щодо моделювання вогневих процесів теплопередачі наданий у [8]. У даній статті надано деякі етапи 1 та 2 сценаріїв.

1 сценарій. В якості основних матеріалів використовувалися сталеві поверхні (лист сталі, товщиною 10 мм), сталевий дріт товщиною 1 мм та жовта сосна у вигляді формованої тирси. Характеристики матеріалів надані у табл. 2. Фізичні характеристики матеріалів прийняті відповідно до бібліотеки «Реакцій та поверхонь горіння в Pyrosim» [16].

Таблиця 2 – Характеристики матеріалів

	Матеріал	Характеристики матеріалів			
		густина, кг/м ³	питома теплоємність, Кдж/(кг·К)	теплопровідність, Вт/(м·К)	коефіцієнт випромінювання,
1 сценарій	сталь	7850	0,46	45,8	0,95
	тирса сосни	180	2,85	0,14	0,9
2 сценарій	сталь	7850	0,46	45,8	0,95
	тирса сосни	240	2,98	0,12	0,9

Відповідно до методики 1, тривалість моделювання складала 240 с. На рис. 2 наведено зовнішній вигляд горіння модельного вогнища на 240 секунді тривалості експерименту.

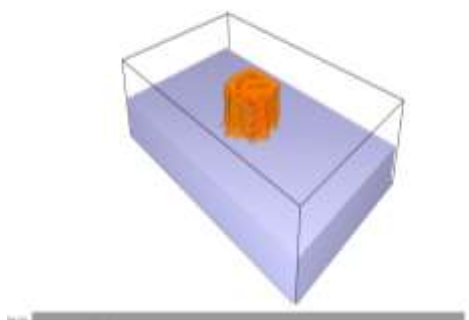


Рисунок 2 – Горіння модельного вогнища (240 сек.)

Розподіл температури по поверхні сталевого покриття та відображення динаміки прогріву поверхні фіксувалося на 10, 30, 120 та 240 секундах. Прогрів поверхні на 240 секунді наданий на рис. 3.

Діаметри зон прогріву поверхні на 240 секунді моделювання наведено на рис. 4.

Характеристики зон прогріву надані у табл. 3.

Прогрів іншої (ширшої) частини поверхні є неоднорідним та для узагальнення результатів не враховується.

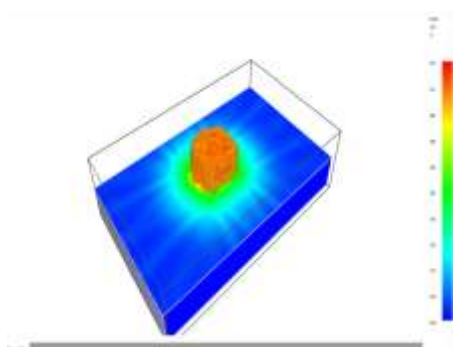


Рисунок 3 – Прогрів поверхні (240 сек.)

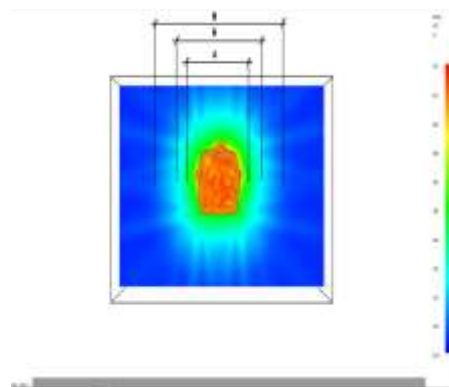


Рисунок 4 – Візуалізація розподілів температури та зон

Таблиця 3. Характеристики зон прогріву

Зона	Час моделювання, с	Межі температури прогріву, °C	Діаметр прогріву поверхні, мм
А	240	320-370	540-550
Б	240	165-370	770-790
В	240	110-370	1300-1450

2 сценарій. В якості основних матеріалів сталеву поверхню на якій розміщено дерев'яну рамку, що складається з восьми соснових брусків довжиною 100 мм і розміром поперечного перерізу (10×10) мм. Шість брусків розміщені на відстані 8 мм один від одного до двох аналогічних брусків. Зовнішні розміри дерев'яної рамки (габарити) складають (100×100) мм. Також під час моделювання, відповідно до вихідних даних методики, по осі Х змодельовано повітряний потік, що імітує вітер, із швидкістю 2 м/с. Тривалість моделювання складає 240 с.

Характеристики матеріалів надані у табл. 1. Процес горіння зразка на поверхні сталевого покриття та динаміка прогріву поверхні фіксувалося на 10, 60, 120, 180 та 240 секундах. На рис. 5 наведено зовнішній вигляд горіння модельного вогнища на 240 секунді тривалості експерименту.

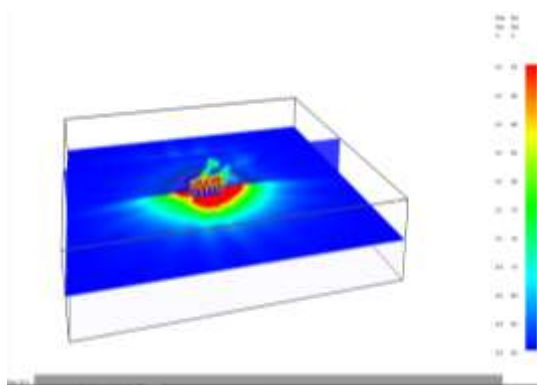


Рисунок 5 – Процес горіння зразка на 240 сек.

Також змодельоване вертикальну проекцію розподілу температури по поверхні сталевій пластини на 10, 60, 120, 180 та 240 секундах. На рис. 6 наведено вертикальну проекцію розподілу температури по поверхні сталевій пластини на 240 секунд.

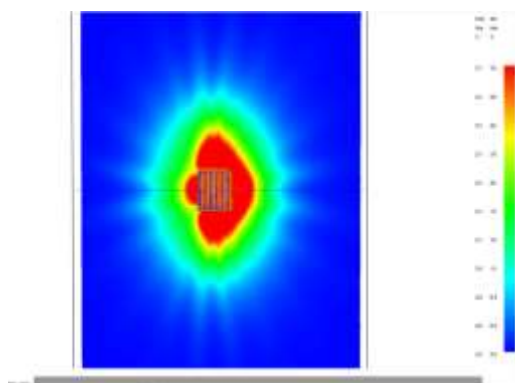


Рисунок 6 – Прогрів поверхні (240 сек).

На рис. 7 наведено схему визначення зон прогріву із зазначенням різних діапазонів, а саме діаметри прогріву

Висновки. Аналіз методів випробувань ДСТУ CEN/TS 1187:2016 показав, що кожен метод є незалежним, без можливості заміни або заміни одного методу іншим. Проведений порівняльний аналіз джерел запалювання дослідних зразків для 1 – 3 методів випробувань показав, що пожежне навантаження для першого методу складає $64,7 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$, другого – $71,4 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$, третього – $74,4 \text{ МДж} \cdot \text{м}^{-2}$ відповідно, при питомій

поверхні зони А (межі $260\text{-}320^\circ\text{C}$) , зони Б (межі $170\text{-}320^\circ\text{C}$) , зони С (межі $90\text{-}320^\circ\text{C}$)

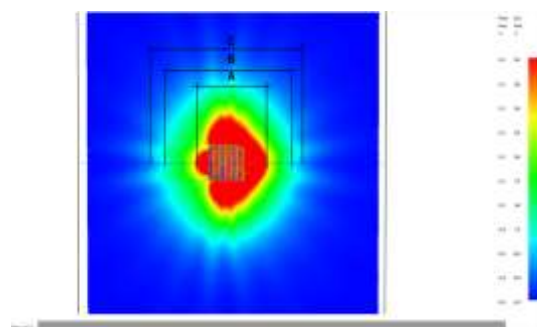


Рисунок 7 – Візуалізація розподілів температури та зон

Діаметр прогріву поверхні на 240 сек. моделювання для зони А (межі $260\text{-}320^\circ\text{C}$) становить 210-225 мм., для зони Б (межі $170\text{-}320^\circ\text{C}$) становить 380-400 мм., для зони В (межі $90\text{-}320^\circ\text{C}$) становить 465-480 мм. Прогрів іншої (ширшої) частини поверхні є неоднорідним та для узагальнення результатів не враховується.

Аналіз результатів моделювання вогневих процесів теплопередачі між джерелом теплового випромінювання та суміжними об'єктами показав більш жорсткі вимоги 2 методу випробувань за ДСТУ CEN/TS 1187:2016 [1].

Також слід зазначити, що державними будівельними нормами [17, 18] не встановлені вимоги щодо класу стійкості покрівель (покрівельних матеріалів) до зовнішнього вогневого впливу, тому до цих норм доцільно внесення відповідних змін.

теплоті згорання $9,7 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1}$ – для 1 методу та $10,2 \text{ МДж} \cdot \text{кг}^{-1}$ – для 2 та 3 методу. Середнє квадратичне відхилення для значення теплоти згорання знаходиться в межах 8 %. Метод 4 випробування не враховувався, у зв'язку з відмінним джерелом запалювання та способом його прикладання.

Аналіз результатів порівняльних випробувань, які проведені лабораторіями EGOLF за CEN/TS 1187 за методами 1 та 2 свідчать, що результати при тестуванні у прийнятних межах. Однак, повторюваність

та відтворюваність методу 1 оцінюються як відносно низькі. За результатами моделювання вогневих процесів теплопередачі між джерелом теплового випромінювання та суміжними об'єктами, яке проводилося за польовою моделлю за допомогою програми FDS, підтверджено більш жорсткі вимоги 2 методу випробувань за CEN/TS 1187. Тому аналіз методів випробування покрівель та покрівельних матеріалів показує на

доцільність застосування в Україні саме другого методу випробувань відповідно до CEN/TS 1187.

З метою гармонізації європейських підходів у сфері забезпечення пожежної безпеки покрівель та покрівельних матеріалів в Україні потребує встановлення вимог до покрівель як до конструкцій та внесення відповідних змін до державних будівельних норм в частині пожежної класифікації покрівель.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ CEN/TS 1187:2016. Методи випробувань покрівель зовнішнім вогневим впливом (CEN/TS 1187:2012, IDT). Прийнятий методом «підтвердження». [Чинний від 2016–09–01]. Київ: ДП УкрНДНЦ, 2016. 83 с.
2. ДСТУ EN 13501-5:2016. Пожежна класифікація будівельних виробів і будівельних конструкцій. Частина 5. Класифікація за результатами випробувань стійкості покрівель до зовнішнього вогневого впливу (EN 13501-5:2005+A1:2009, IDT). Прийнятий методом «підтвердження». [Чинний від 2016–09–01]. Київ: ДП УкрНДНЦ, 2016. 41 с.
3. CEN/TS 16459:2013. External fire exposure of roofs and roof coverings – Extended application of test results from CEN/TS 1187 (Вплив зовнішнього вогню на покрівлі та покрівельні матеріали. Розширене застосування результатів випробування CEN/TS 1187). URL: <https://standards.globalspec.com/std/1650621/cen-ts-16459> (дата звернення: 18.06.2019).
4. Коваленко В. В., Коробкін В. Ф., Ковалишин Б. М. Аналіз вимог та методів випробувань покрівель та покрівельних матеріалів на пожежну небезпеку: *Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека*. 2019. № 1(7). С. 47–53.
5. Згуря В. І., Остапчук А. П. Сучасні методи випробувань покрівельних матеріалів на пожежну небезпеку. *Науковий вісник УкрНДНЦ*. Київ. 2003. № 1 (7).
6. EGOLF Annual report and Newsletter 2010–2018 The European Group of Organisations for Fire testing, Inspection and Certification (Щорічний звіт EGOLF та інформаційний бюлетень 2010–2018 рр. Європейська група організацій з вогневих випробувань, інспекцій та сертифікації) URL : <https://www.egolf.global/documents/egolf-annual-report.html> (дата звернення: 21.03.2020).
7. Провести дослідження та науково обґрунтувати методи випробувань покрівельних матеріалів на пожежну небезпеку («Пожежна небезпека покрівельних матеріалів»): звіт про НДР (заклучний). УкрНДНЦ ДСНС України. Київ, 2015. 244 с. № ДР 0114U003771.
8. Обґрунтування процедури розширеного застосування результатів випробувань покрівель та покрівельних матеріалів зовнішнім вогневим впливом («Випробування покрівель – розширене застосування»): звіт про НДР (заклучний) УкрНДНЦ ДСНС України. Київ. 2020. 244 с. № ДР 0119U100719.
9. CEN/TS 1187:2012 Test methods for external fire exposure to roofs. (Методи випробувань покрівель зовнішнім вогневим впливом). URL: <https://standards.cen.eu/dyn/www/f?p=204:105:0>: (дата звернення: 21.06.2019).
10. ДСТУ 3855:1999. Пожежна безпека. Визначення пожежної небезпеки матеріалів та конструкцій. Терміни та визначення. [Чинний від 2000-07-01] Вид. офіц. Київ: Держспоживстандарт України, 1999. 24 с.
11. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. Поправка. [Чинний від 2017-02-01] Вид. офіц. Київ: Мінрегіонбуд України, 2016. 66 с.
12. Anne Steen-Hansen, Research Manager SP Fire Research AS, Norway EGOLF Round Robin on test 1 and 2 in CEN/TS 1187 Test methods for external fire exposure to roofs Annual report 2013 (Енн Стін-Хансен. EGOLF Round Robin на тестах 1 і 2 в CEN / TS 1187. Методи випробувань зовнішнього впливу вогню на дахах. Відділ досліджень SP Fire Research AS, Норвегія Annual report 2013. URL:

- <https://www.egolf.global/download/%7B4335333E-94B4-4D22-B00E-730B164F5CD1%7D> (дата звернення: 15.01.2020).
13. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania. ASTM E 1355-04, Standard Guide for Evaluating the Predictive Capabilities of Deterministic Fire Models, 2004.
 14. K.B. McGrattan, B.W. Klein, S. Hostikka, and J.E. Floyd. Fire Dynamics Simulator (Version 5), User's Guide. NIST Special Publication 1019-5, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, October 2007.
 15. NIST Special Publication 1019. Fire Dynamics Simulator (Sixth Edition). User's Guide. NIST, 2017. 339 p.
 16. Робота в програмному комплексі FireCat. Бібліотека поверхонь горіння в PyroSim. Редакція 4. URL: <https://pyrosim.ru/polevaya-model-pozhara> (дата звернення: 30.03.2020).
 17. ДБН В.1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. [Чинний від 2017–01–06]. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2016. 39 с.
 18. ДБН В.2.6-220 : 2017. Покриття будівель і споруд. [Чинний від 2018–01–01]. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України, 2017. 43 с.

REFERENCES

1. DSTU SEN/TS 1187:2016. Metody vyprobuvan pokrivel zovnishnim vohnevym vplyvom (SEN/TS 1187:2012, IDT). Pryiniaty metodom «pidtverdzhennia». [Chynnyi vid 2016–09–01]. Kyiv: DP UkrNDNTs, 2016. 83 s. [In Ukrainian].
2. DSTU EN 13501-5:2016. Pozhezhna klasyfikatsiia budivelnykh vyrobiv i budivelnykh konstruksii. Chastyna 5. Klasyfikatsiia za rezultatsy vyprobuvan stiikosti pokrivel do zovnishnoho vohnevoho vplyvu (EN 13501-5:2005+A1:2009, IDT). Pryiniaty metodom «pidtverdzhennia». [Chynnyi vid 2016–09–01]. Kyiv: DP UkrNDNTs, 2016. 41 s. [In Ukrainian].
3. CEN/TS 16459:2013. External fire exposure of roofs and roof coverings – Extended application of test results from CEN/TS 1187. URL : <https://standards.globalspec.com/std/1650621/cen-ts-16459>.
4. Kovalenko V. V., Korobkin V. F., Kovalyshyn B. M. Analiz vymoh ta metodiv vyprobuvan pokrivel ta pokrivelnykh materialiv na pozhezhnu nebezpeku: Naukovyi visnyk: Tsyvilnyi zakhyst ta pozhezhna bezpeka. 2019. № 1(7). S. 47–53. [In Ukrainian].
5. Zghuria V. I., Ostapchuk A. P. Suchasni metody vyprobuvan pokrivelnykh materialiv na pozhezhnu nebezpeku. Naukovyi visnyk UkrNDIPB. Kyiv. 2003. № 1 (7) [In Ukrainian].
6. EGOLF Annual report and Newsletter 2010–2018 The European Group of Organisations for Fire testing, Inspection and Certification URL : <https://www.egolf.global/documents/egolf-annual-report.html>
7. Provesty doslidzhennia ta naukovu obgruntuvaty metody vyprobuvan pokrivelnykh materialiv na pozhezhnu nebezpeku («Pozhezhna nebezpeka pokrivelnykh materialiv»): zvit pro NDR (zakliuchnyi). UkrNDITsZ DSNS Ukrainy. Kyiv, 2015. 244 s. № DR 0114U003771 [In Ukrainian].
8. Obgruntuvannia protsedury rozshyrenoho zastosuvannia rezultativ vyprobuvan pokrivel ta pokrivelnykh materialiv zovnishnim vohnevym vplyvom («Vyprobuвання pokrivel – rozshyrene zastosuvannia»): zvit pro NDR (zakliuchnyi) UkrNDITsZ DSNS Ukrainy. Kyiv. 2020. 244 s. № DR 0119U100719 [In Ukrainian].
9. CEN/TS 1187:2012 Test methods for external fire exposure to roofs. (Методи випробувань покрівель зовнішнім вогневим впливом). URL: <https://standards.cen.eu/dyn/www/f?p=204:105:0>:
10. DSTU 3855:1999. Pozhezhna bezpeka. Vyznachennia pozhezhnoi nebezpeky materialiv ta konstruksii. Terminy ta vyznachennia. [Chynnyi vid 2000-07-01] Vyd. ofits. Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 1999. 24 s. [In Ukrainian].
11. DSTU B V.1.1-36:2016 Vyznachennia katehorii prymishchen, budynkiv ta zovnishnikh ustanovok za vybukhopozhezhnoi ta pozhezhnoi nebezpekoiu. Popravka. [Chynnyi vid 2017-02-01] Vyd. ofits. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy, 2016. 66 s. [In Ukrainian].
12. Anne Steen-Hansen, Research Manager SP Fire Research AS, Norway EGOLF Round Robin on test 1 and 2 in CEN/TS 1187 Test methods for external fire exposure to roofs. *Annual report* 2013. URL: <https://www.egolf.global/download/%7B4335333E-94B4-4D22-B00E-730B164F5CD1%7D>.
13. American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, Pennsylvania. ASTM E 1355-04, Standard Guide for Evaluating the Predictive Capabilities of Deterministic Fire Models, 2004.

14. K.B. McGrattan, B.W. Klein, S. Hostikka, and J.E. Floyd. Fire Dynamics Simulator (Version 5), User's Guide. NIST Special Publication 1019-5, National Institute of Standards and Technology, Gaithersburg, Maryland, October 2007.
15. NIST Special Publication 1019. Fire Dynamics Simulator (Sixth Edition). User's Guide. NIST, 2017. 339 p.
16. Robota v prohramnomu kompleksi FireCat. Biblioteka poverkhon horinnia v PyroSim. Redaktsiia 4. URL: <https://pyrosim.ru/polevaya-model-pozhara> (data zvernennia: 30.03.2020) [In Ukrainian].
17. DBN V.1.1-7:2016 Pozhezhna bezpeka ob'ektiv budivnytstva. Zahalni vymohy. [Chynnyi vid 2017–01–06]. Kyiv: Ministerstvo rehionalnoho rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrainy, 2016. 39 s. [In Ukrainian].
18. DBN V.2.6-220 : 2017. Pokryttia budivel i sporud. [Chynnyi vid 2018–01–01]. Kyiv: Ministerstvo rehionalnoho rozvytku, budivnytstva ta zhytlovo-komunalnoho hospodarstva Ukrainy, 2017. 43 s. [In Ukrainian].

DETERMINING METHOD OF THE EXTENDED APPLICATION OF TEST RESULTS OF ROOFS AND ROOFING MATERIALS (THE INTERNATIONAL EXPERIENCE OF APPLICATION OF CEN / TS 1187)

*V. Kovalenko, Cand. Sc. (Eng.) SRF; V. Korobkin, N. Ivashyna, Y. Ballo, Cand. Sc. (Eng.)
Institute of Public Administration and Research in Civil Protection, Ukraine*

KEY WORDS

analysis, tests,
experience, method,
fire safety, roofing
materials, extended
application

ANNOTATION

The article is aimed at further harmonization of the national regulatory framework with international and European regulations on methods of testing roofs and roofing materials on fire safety. The aim of the article is to analyze the international experience of applying test methods in accordance with CEN/TS 1187 to substantiate and determine in Ukraine the feasibility of introducing a separate method of extended application of test results of roofs and roofing materials on fire safety. The analysis of the international experience of application methods of roofs and roofing materials tests is given. The ambiguity of the application of methods in other countries is determined. Each method is independent, without the possibility of replacing one method with another. To determine the characteristics of fire load of ignition sources, the corresponding calculations were performed by four methods of CEN/TS 1187. An analysis of the results of comparative tests conducted by EGOLF during classes on courses on CEN/TS 1187 tests 1 and 2 of four samples. It is emphasized that the repeatability and reproducibility of method 1 are assessed as relatively low. The modeling of heat transfer processes between the heat source and adjacent objects on the field model was carried out using the program FDS (Fire Dynamics Simulator), taking into account the provisions of domestic requirements. The stricter requirements of test method 2 according to CEN/TS 1187 have been confirmed. The expediency of using the second test method in accordance with CEN TS 1187 is emphasized in Ukraine. According to the results of the research, the urgency of setting a new research (development) work on the development of test equipment to determine the extent of the flame on the roofs and roofing materials. In order to harmonize European approaches in the sphere of fire safety of roofs and roofing materials in Ukraine, it is proposed to establish requirements for roofs as structures and make appropriate changes to state building codes in terms of fire classification of roofs.

УДК 502.2:577.4

Сергій Чумаченко, д-р техн. наук,
старш. наук. співроб,

ORCID iD [0000-0002-8894-4262](https://orcid.org/0000-0002-8894-4262)

Національний університет харчових
технологій

Євген Морц, канд. техн. наук,

ORCID iD [0000-0003-0131-2332](https://orcid.org/0000-0003-0131-2332)

Департамент запобігання надзвичайним
ситуаціям ДСНС України

Альона Михайлова, канд. техн. наук,

ORCID iD [0000-0001-9440-4417](https://orcid.org/0000-0001-9440-4417)

Інститут державного управління та
наукових досліджень з цивільного захисту

Андрій Парталян, канд. техн. наук,

ORCID iD [0000-0001-7149-8975](https://orcid.org/0000-0001-7149-8975)

Управління екологічної безпеки
та протимінної діяльності Міністерства
оборони України, E-mail: mihajlova-a-v@ukr.net

МЕТОДИКА КОМПЛЕКСНОГО ОПЕРАТИВНОГО ЕКСПЕРТНОГО ОЦІНЮВАННЯ ВІЙСЬКОВО-ТЕХНОГЕННИХ ЗАГРОЗ В ЗОНІ ПРОВЕДЕННЯ ОПЕРАЦІЇ ОБ'ЄДНАНИХ СИЛ

<https://doi.org/10.33269/nvcz.2020.1.23-33>

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ	АНОТАЦІЯ
Надійшла до редакції: 10.09.2020 Пройшла рецензування: 23.09.2020 КЛЮЧОВІ СЛОВА: військово-техногенна загроза, експертне оцінювання, операція Об'єднаних сил, бойові дії, методика, чинники впливу	У даній науковій роботі викладено прийоми та способи застосування методики комплексного оперативного експертного оцінювання військово-техногенних загроз в зоні проведення операції Об'єднаних сил на Сході України під час ведення бойових дій. Запропоновану методику було апробовано в умовах прогнозованого підвищення інтенсивності бойових дій. Її застосування дасть можливість відповідним органам та підрозділам оперативного та комплексно здійснювати оцінку військово-техногенних загроз від ведення бойових дій на Сході України для об'єктів соціо-еколого-економічних систем. В результаті проведених аналітичних досліджень наукових джерел було виявлено основні особливості ефективних прийомів та методів оцінки різного виду загроз, які пов'язані з наслідками техногенного характеру, та можуть стати причиною виникнення надзвичайних ситуацій. Здійснено вибір критеріїв для комплексного оперативного оцінювання військово-техногенних загроз, у відповідності з методологією побудови концептуальної моделі оцінки ризиків. Визначені критерії було поділено на три групи: джерело загрози, шлях проходження загрози та об'єкт впливу (реципієнт) загрози. У статті описано алгоритмічну процедуру та фактори, які використовуються для здійснення оперативного оцінювання військово-техногенних загроз, а також наведено основні чинники негативного впливу військово-техногенних загроз, що є для них ключовими. В ході проведених досліджень було розроблено ієрархічну класифікацію факторів комплексного оперативного оцінювання загроз для території проведення операції Об'єднаних сил. В результаті чого отримано систему рівнянь, котра враховує різноаспектні чинники оцінки впливу загроз на об'єкти соціо-еколого-економічних систем. Зазначена система рівнянь дасть можливість здійснювати моделювання зміни військово-техногенних загроз в залежності від зміни факторів та критеріїв оцінювання. Це дозволить здійснювати оперативне ранжирування військово-техногенних загроз для зони проведення операції Об'єднаних сил на Сході України та розробляти рекомендації щодо їх зниження.

Постановка проблеми. Проблема оцінки військово-техногенних загроз в зоні

ведення бойових дій (далі – БД) надзвичайно актуальна, оскільки в

багатьох країнах виникають сутички, що призводять до конфліктів з веденням БД. Такі ситуації стають причиною значного воєнно-техногенного впливу на об'єкти критичної інфраструктури, соціум й довкілля.

Проведення операції Об'єднаних сил (далі – ООС) із повномасштабним застосуванням Збройних Сил й інших силових формувань України та аналіз складної екологічної ситуації на південному сході України підтвердив актуальність оцінювання загроз і ризиків в умовах ведення БД на техногенно насичених ландшафтах Донецької та Луганської областей.

Аналіз літературних джерел та постановка проблеми. За останні 25 років накопичено значний фактографічний і методичний матеріал, який, на жаль, недостатньо використовується для вирішення технічних і технологічних проблем з метою пошуку підходів забезпечення техногенної безпеки різних видів антропогенної діяльності, в тому числі і військової [1-14]. Існуючий досвід техногенно-екологічного забезпечення БД підтвердив, що ці підходи не можуть бути в повній мірі застосовані під час проведення активної фази ООС. Крім того, досі не розроблено загальноприйнятого універсального методу оцінки впливу БД на довкілля. В США і Європі, наприклад, застосовуються в різних випадках і регіонах понад 50 різних методів [9-11].

Відсутність належного фінансування на проведення відповідних повномасштабних регулярних досліджень, складність проблеми формалізації повного переліку військово-техногенних чинників впливу БД, необхідність проведення термінових і оперативних оцінок військово-техногенних загроз призводить до необхідності розвитку методів оперативного експертного оцінювання в підрозділах, задіяних в проведенні ООС [15-18].

Для проведення оцінки і ранжування військово-техногенних загроз застосовують декілька підходів [12],

найчастіше – порівняння загроз з універсальними стандартами. Стандарти можуть бути кількісними (наприклад, гранично допустимі концентрації забруднюючих речовин), чи носити характер якісних норм (наприклад, обмеження на визначені види військової діяльності в межах природної території, що має природоохоронний статус).

Порівняння величини впливу БД зі стандартами може бути застосоване для оцінки військово-техногенних загроз за умови, якщо такі стандарти вже розроблені. На основі оцінки може прийматися рішення про включення загроз в наступний детальний розгляд або про необхідність вжиття визначених заходів для пом'якшення впливу загроз.

Близький до порівняльного зі стандартами є підхід, що ґрунтується на порівнянні величини впливу загрози з усередненими значеннями даного параметра для певної місцевості. До цього типу підходів відноситься також порівняння параметрів стану довкілля з фоновими значеннями. Цей підхід вводить в оцінку і ранжування загроз елемент «контексту» й обліку комплексних параметрів місцевої ситуації.

Порівняння величини впливів загроз зі стандартами, з усередненими значеннями для регіону та з характерними фоновими значеннями є, в певній мірі, «об'єктивним» прийомом оцінки і ранжування загроз (хоча стандарти, в певному сенсі, можуть розглядатися і як суб'єктивна величина) [12].

Коли виникає потреба порівняти різні альтернативні варіанти для пом'якшення впливу загроз, необхідно провести оцінку і ранжування цілого ряду загроз різного походження. Не тільки величина військово-техногенних чинників, але і характер впливу на екосистеми для різних варіантів можуть істотно відрізнятися один від одного. При цьому серед можливих варіантів може не виявитися жодного, для якого усі види впливів загроз є найменшими, і в цьому випадку слід шукати компроміси для розробки оптимальної стратегії управління станом навколишнього довкілля.

Огляд сучасних підходів до системного аналізу складних природно-техногенних геосистем і процесів, а також аналіз математичного апарату, що застосовується при цьому, дозволяють зробити висновок: аналіз і оцінка військово-техногенних загроз повинні бути багатофакторними [12, 14-19], а системний аналіз сукупності джерел військово-техногенних загроз доцільно проводити з урахуванням ряду чинників оцінки, що є визначальними при формуванні цільових функцій для критеріїв оцінки загроз.

На сьогоднішній день серед відомих прикладів застосування експертних методів оцінки і ранжування загроз для екосистем є:

авторська методика канадських вчених Thorpe J. та Godwin R. для оцінки загроз біорізноманіттю в канадській провінції Saskatchewan [15];

методика оцінки і ранжування загроз для територій збереження глобально-вразливих видів, розроблена вченими із США Richard Margoluis та Nick Salafsky [16];

методика ранжування загроз біорізноманіттю за їх пріоритетністю [17, 18].

Аналіз підходів, що наведені в публікаціях [15-18], дозволяє визначити ряд недоліків, зокрема:

недостатня кількість показників для об'єктивної оцінки загроз;

відсутність можливості врахування інформативності критеріїв;

суб'єктивність під час оцінювання можливості зменшення загроз;

відсутність зваженого врахування складових критеріїв у комплексному критерії оцінки загроз.

Метою цієї статті є розробка методики комплексного оперативного експертного оцінювання військово-техногенних загроз в зоні проведення ООС, яка б дозволила оперативно і комплексно оцінити військово-техногенні загрози від ведення БД для соціо-еколого-економічних систем (далі – СЕЕС).

Виклад основного матеріалу.

Припустимо, що нам відомі усі параметри потоку військово-техногенного навантаження, яке складається із чинників впливу БД на довкілля, тобто вектор

$$F^T (F_1^T, \dots, F_n^T), \quad (1)$$

де $F_i^T (f_{i1}, \dots, f_{ij}, \dots, f_{ik})$ – техногенні спектри, що є компонентами вектора потоку воєнно-техногенного навантаження, а f_{ij} – чинники військово-техногенного впливу, що є компонентами техногенних спектрів.

Якщо небезпечні явища чи процеси не можуть бути формалізовані й приведені до математичного моделювання, то застосовують евристичне моделювання, яке базується на узагальненні висновків групи незалежних експертів. Ці методи використовують математичну обробку оцінок експертів з метою узагальнення та об'єктивізації думки висококваліфікованих спеціалістів.

Останнім часом під час проведення оцінки техногенно-екологічного стану військово-техногенних об'єктів досить часто став вживаним термін «загроза», що у випадку ведення БД відображає можливість виникнення деяких умов військово-техногенного характеру, за наявності яких можуть виникнути несприятливі чи катастрофічні процеси у військово-техногенних геосистемах.

Узагальнений аналіз підходів, що були реалізовані у вищезазначених методиках [17, 18], дозволяє сформулювати послідовність процедур виконання певних дій під час проведення оцінки військово-техногенних загроз:

1. Ідентифікація військово-техногенних загроз для ВТГС та їх класифікація.

2. Вибір і обґрунтування критеріїв для оцінки загроз.

3. Поділ території для виділення типових ВТГС з відносно однорідним складом природних та техногенних чинників впливу.

4. Системний аналіз ВТГС із застосуванням ГІС-технологій.

5. Визначення й формування комплексних критеріїв оцінки загроз.

6. Проведення аналізу загроз за вибраними критеріями щодо ВТГС.

7. Проведення ранжування загроз.

8. Визначення кількості високорівневих загроз щодо ВТГС.

9. Аналіз високорівневих загроз за типами загроз.

10. Розробка плану дій щодо зменшення загроз.

Методика комплексного оперативного експертного оцінювання військово-техногенних загроз в зоні проведення операції Об'єднаних сил базується на:

способах, які стосуються визначення оцінок: джерела загрози; впливу загрози; реципієнтів впливу загрози [17];

системній оцінці військово-техногенного навантаження від джерела загрози, яка потребує: ідентифікації військово-техногенних загроз та їх класифікації; оцінки військово-техногенних загроз за вибраними критеріями; ранжування військово-техногенних загроз;

аналізі структури чинників військово-техногенного впливу БД на об'єкти СЕЕС (рис. 1).

застосуванні експертних оцінок для згортки багатокритеріальної задачі до однокритеріальної [20].

Перейдемо до детального викладення змісту прийомів і способів запропонованої методики. З метою виявлення і детального аналізу військово-техногенних чинників впливу слід проаналізувати БД. У такому разі для кожного джерела військово-техногенної загрози складається перелік завдань, які вирішуються під час ведення БД.

Можна стверджувати, що БД є інтегральною воєнно-техногенною загрозою для СЕЕС, тому процедуру експертної оцінки джерел загроз під час ведення БД, слід будувати, як комплексну оцінку військово-техногенних загроз.

Для побудови логіко-інформаційної моделі оцінки військово-техногенних

загроз використовуємо три групи критеріїв (рис. 2), що визначаються, згідно із методологією побудови концептуальної моделі оцінки ризиків [17, 18]: джерело загрози, шлях проходження загрози, об'єкт впливу (реципієнт) загрози.

Система критеріїв (рис. 3) враховує різноаспектні оцінки впливу військово-техногенних загроз під час ведення БД на СЕЕС та відповідні чинники, що входять до складу часткових критеріїв [21].

Інтегральний критерій (узагальнена цільова функція) є інструментом для уникнення невизначеності шляхом зведення багатокритеріальної задачі до однокритеріальної. Цей критерій представляє собою скалярну функцію векторного аргументу [14, 15]:

$$J_{\Sigma}(e) = f(J_1(e_1), J_2(e_2), \dots, J_n(e_n)), \quad (2)$$

де $J_{\Sigma}(e)$ - цільова інтегральна функція критерію оцінки загроз, $J_i(e_i), i = \overline{1, n}$ - цільові функції складових критеріїв оцінки і ранжування загроз.

Моделлю процедури порівняння є матриця парних порівнянь, в якій чинники (параметри, ознаки) розміщені за горизонталлями та за вертикалями. З метою уніфікації відповідей експертів та спрощення початкової обробки даних, всім експертам повинен бути заданий однаковий спосіб оцінки (або у вигляді числа, або у вигляді відношення чисел) і одна шкала оцінок. Оцінка не повинна бути більшою базового числа.

Підсумовування оцінок за рядками та за стовпцями результатів парних порівнянь дає можливість ранжувати чинники впливу. Для отримання експертних оцінок відповідних впливів від військово-техногенних загроз від БД експерти за методом парних порівнянь надають відповідні оцінки чинникам критеріїв оцінки (табл. 1).

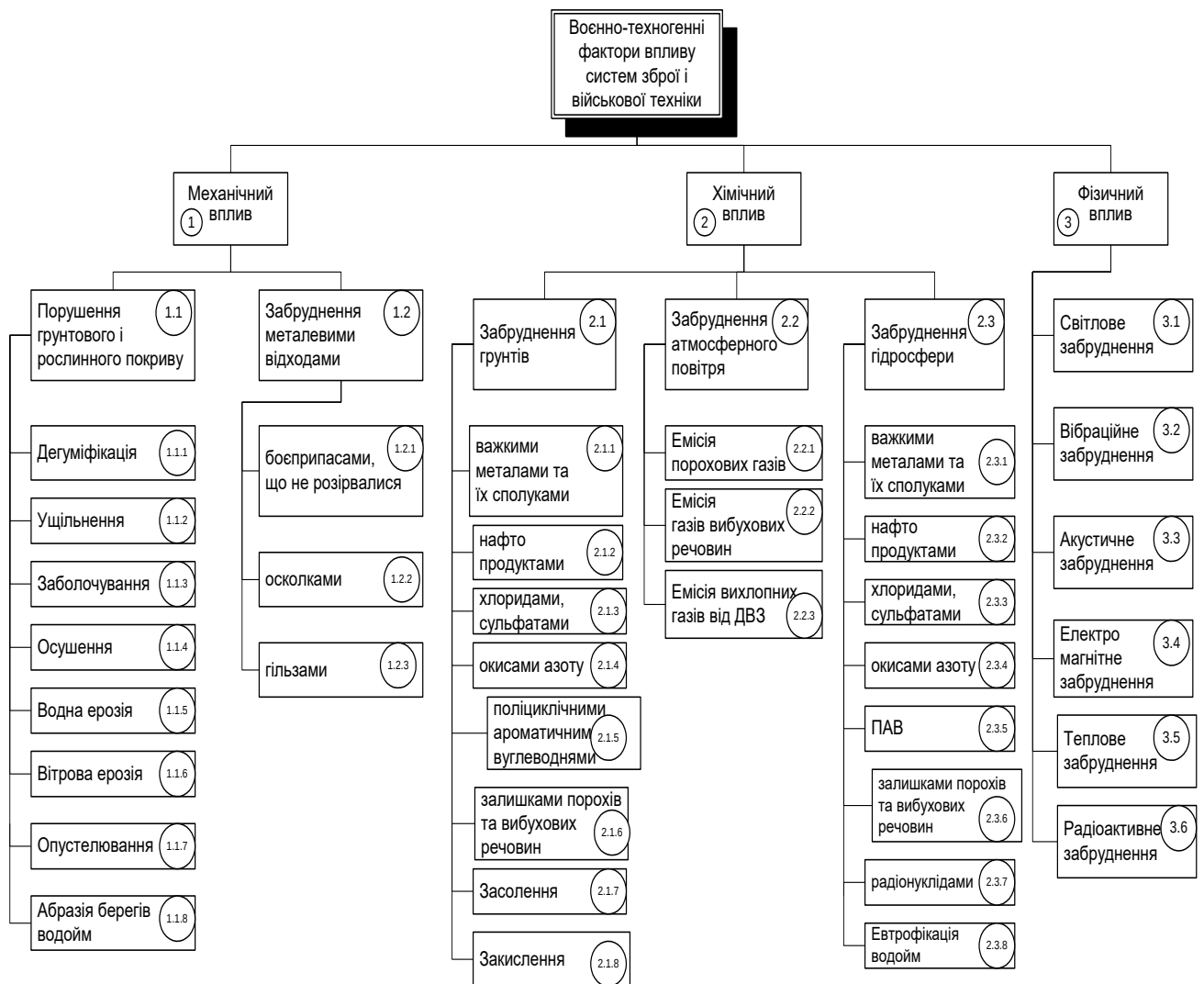


Рисунок 1 – Аналіз структури чинників військово-техногенного впливу БД на об'єкти СЕЕС



Рисунок 2 – Концептуальна модель оцінки загроз і ризиків

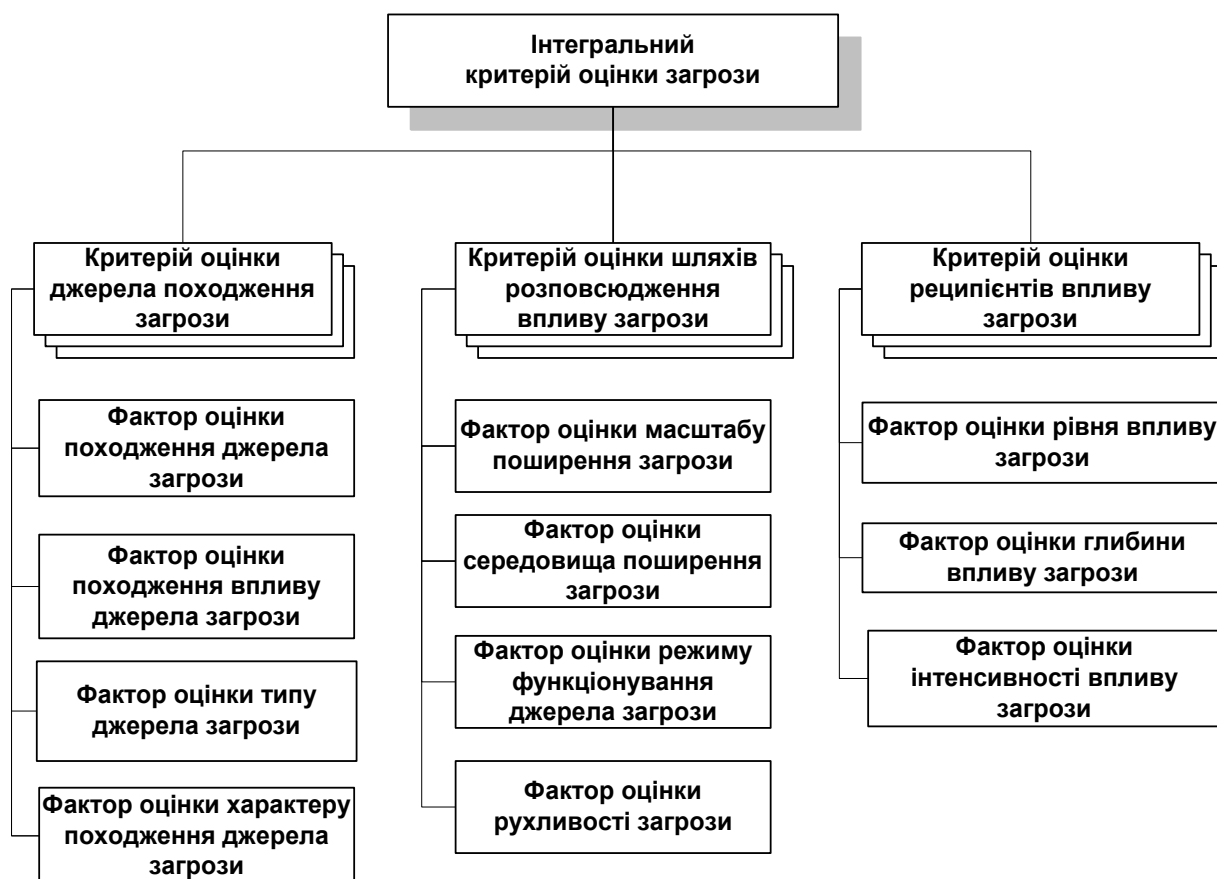


Рисунок 3 – Система критеріїв оцінки військово-техногенних загроз

Таблиця 1 – Класифікація критеріїв і чинників оцінок військово-техногенних загроз

Критерій оцінки джерела походження військово-техногенної загрози					
1. Чинник оцінки походження джерела загрози					
Ракетна техніка	Авіаційна техніка	Бронетанкова техніка	Кораблі	Артилерійське озброєння	Стрілецьке озброєння
2. Чинник оцінки походження впливу джерела загрози БД					
Радіоактивне	Емісія	Хімічне	Електромагнітне	Механічне	Акустичне
Вібраційне	Теплове	Світлове			
3. Чинник оцінки типу джерела загрози					
Неорганізовані	Організовані	Групові	Одиночні	Площинні	Точкові
4. Чинник оцінки характеру походження джерела загрози					
Ланцюжкове	Фактороформуюче	Безпосереднє	Вторинне		
Вагові коефіцієнти: $K_1=0,24$; $K_2=0,36$; $K_3=0,23$; $K_4=0,17$.					
Критерій оцінки шляхів розповсюдження загрози БД					
1. Чинник оцінки масштабу поширення загрози БД					
Глобальне	Міждержавне	Регіональне	Охоплює об'єкти ПЗФ	Місцеве	Локальне
2. Чинник оцінки середовища поширення загрози					
Атмосферне повітря	Ґрунтові води	Поверхневі води	Ґрунти	Морські води	
3. Чинник оцінки режиму функціонування джерела загрози					
Постійно діюче	Періодично діюче	Епізодично діюче	Одноразове	Випадкове	
4. Чинник оцінки рухливості загрози					
Рухома	Малорухома	Нерухома			
Вагові коефіцієнти: $K_1=0,32$; $K_2=0,27$; $K_3=0,26$; $K_4=0,15$.					
Критерій оцінки реципієнтів впливу загрози					
1. Чинник оцінки рівня впливу загрози					
Ландшафтний	Екосистемний	Флористичний	Фауністичний	Інфраструктурний	Соціальний
2. Чинник оцінки глибини впливу загрози					
Незворотній	Частково-зворотній	Зворотній			
3. Чинник оцінки інтенсивності впливу загрози					
Висока	Середня	Мала			
Вагові коефіцієнти: $K_1=0,5$; $K_2=0,26$; $K_3=0,24$.					
Інтегральний критерій оцінки загрози					
Вагові коефіцієнти: $K_1=0,45$; $K_2=0,34$; $K_3=0,21$.					

Далі опрацювання отриманих даних проводиться згідно із методом аналізу ієрархій Сааті. Для оцінки чинників в часткових критеріях складаємо три системи рівнянь:

1. Критерій оцінки джерела військово-техногенної загрози від ведення БД:

$$\begin{cases} f_{11}(e^1) = 0,29 \cdot e^1_{11} + 0,24 \cdot e^1_{12} + 0,19 \cdot e^1_{13} + 0,14 \cdot e^1_{14} + 0,09 \cdot e^1_{15} + 0,05 \cdot e^1_{16}, \\ f_{12}(e^1) = 0,2 \cdot e^1_{21} + 0,18 \cdot e^1_{22} + 0,16 \cdot e^1_{23} + 0,13 \cdot e^1_{24} + 0,11 \cdot e^1_{25} + 0,09 \cdot e^1_{26} + \\ + 0,07 \cdot e^1_{27} + 0,04 \cdot e^1_{28} + 0,02 \cdot e^1_{29}, \\ f_{13}(e^1) = 0,29 \cdot e^1_{31} + 0,24 \cdot e^1_{32} + 0,19 \cdot e^1_{33} + 0,14 \cdot e^1_{34} + 0,09 \cdot e^1_{35} + 0,05 \cdot e^1_{36}, \\ f_{14}(e^1) = 0,4 \cdot e^1_{41} + 0,3 \cdot e^1_{42} + 0,2 \cdot e^1_{43} + 0,1 \cdot e^1_{44}; \end{cases} \quad (3)$$

2. Критерій оцінки шляхів розповсюдження впливу загрози від ведення БД:

$$\begin{cases} f_{21}(e^2) = 0,29 \cdot e^2_{11} + 0,24 \cdot e^2_{12} + 0,19 \cdot e^2_{13} + 0,14 \cdot e^2_{14} + 0,09 \cdot e^2_{15} + 0,05 \cdot e^2_{16}, \\ f_{22}(e^2) = 0,33 \cdot e^2_{21} + 0,27 \cdot e^2_{22} + 0,2 \cdot e^2_{23} + 0,13 \cdot e^2_{24} + 0,07 \cdot e^2_{25}, \\ f_{23}(e^2) = 0,33 \cdot e^2_{31} + 0,27 \cdot e^2_{32} + 0,2 \cdot e^2_{33} + 0,13 \cdot e^2_{34} + 0,07 \cdot e^2_{35}, \\ f_{24}(e^2) = 0,5 \cdot e^2_{41} + 0,33 \cdot e^2_{42} + 0,17 \cdot e^2_{43}; \end{cases} \quad (4)$$

3. Критерій оцінки реципієнтів впливу джерела загрози від ведення БД:

$$\begin{cases} f_{31}(e^3) = 0,29 \cdot e^3_{11} + 0,24 \cdot e^3_{12} + 0,19 \cdot e^3_{13} + 0,14 \cdot e^3_{14} + 0,09 \cdot e^3_{15} + 0,05 \cdot e^3_{16}, \\ f_{32}(e^3) = 0,5 \cdot e^3_{21} + 0,33 \cdot e^3_{22} + 0,17 \cdot e^3_{23}, \\ f_{33}(e^3) = 0,5 \cdot e^3_{31} + 0,33 \cdot e^3_{32} + 0,17 \cdot e^3_{33}. \end{cases} \quad (5)$$

Після оцінки чинників обчислюють значення часткових критеріїв. За умови застосування адитивної цільової функції часткові критерії обчислюють за формулами:

1. Критерій оцінки джерела військово-техногенної загрози від ведення БД:

$$J_1(e^1) = 0,24 \cdot f_{11}(e^1) + 0,36 \cdot f_{12}(e^1) + 0,23 \cdot f_{13}(e^1) + 0,17 \cdot f_{14}(e^1), \quad (6)$$

2. Критерій оцінки шляхів розповсюдження впливу загрози від ведення БД:

$$J_2(e^2) = 0,32 \cdot f_{21}(e^2) + 0,26 \cdot f_{22}(e^2) + 0,27 \cdot f_{23}(e^2) + 0,15 \cdot f_{24}(e^2), \quad (7)$$

3. Критерій оцінки реципієнтів впливу джерела загрози від ведення БД:

$$J_3(e^3) = 0,5 \cdot f_{31}(e^3) + 0,26 \cdot f_{32}(e^3) + 0,24 \cdot f_{33}(e^3), \quad (8)$$

4. Інтегральний критерій оцінки військово-техногенної загрози від ведення БД:

$$J_\Sigma(e) = 0,45 \cdot J_1(e^1) + 0,34 \cdot J_2(e^2) + 0,21 \cdot J_3(e^3). \quad (9)$$

Для визначення найбільш небезпечного військово-техногенного об'єкту БД на останньому етапі застосування запропонованої методики знаходимо максимальну бальну оцінку за інтегральним критерієм:

$$e^* = \arg \max_{e \in E} f(J_1(e_1), J_2(e_2), \dots, J_n(e_n)). \quad (10)$$

Висновки. Методика, суть якої викладено в даній статті, була розроблена та апробована для оперативного експертного оцінювання військово-техногенних загроз СЕЕС у зоні проведення ООС в умовах прогнозованого підвищення інтенсивності БД Збройних Сил та інших силових формувань України для досягнення переваги і захисту незалежності нашої держави.

За результатами оцінювання загроз вперше було показано, що об'єкти в зоні проведення ООС можливо розподілити за чотирма класами:

Об'єкти з високим рівнем військово-техногенних загроз, на яких проводяться БД із застосуванням систем зброї і військової техніки зі стрільбою та вогневим ураженням цілей артилерійським озброєнням.

Об'єкти з середнім рівнем військово-техногенних загроз, на яких проводяться БД із застосуванням систем зброї і військової

техніки зі стрільбою та вогневим ураженням цілей артилерійським озброєнням.

Об'єкти з малим рівнем військово-техногенних загроз, на яких проводяться БД із застосуванням систем зброї і військової техніки зі стрільбою та вогневим ураженням цілей стрілецьким озброєнням.

Об'єкти з дуже малим рівнем військово-техногенних загроз, на яких проводяться заходи з підтримки миру без стрільб і вогневого ураження.

Розроблену Методику комплексного оперативного експертного оцінювання військово-техногенних загроз в зоні проведення операції Об'єднаних сил доцільно впровадити в автоматизовану систему управління військами та іншими силовими формуваннями, в якості методичного інструменту оперативного забезпечення заходів для прогнозування рівня військово-техногенних загроз для СЕЕС під час ведення БД.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Романченко І. С., Сбітнев А. І., Бутенко С. Г. Екологічна безпека: екологічний стан та методи його моніторингу. К.: МО України, ЦНДІ ЗС України, 2006. 560 с.
2. Романченко І. С. Математичні моделі та інформаційні технології оцінки і прогнозування стану природного середовища випробувальних полігонів : монографія / І.С. Романченко та ін. К.: МО України, ЦНДІ ЗС України, 2009. 166 с.
3. Лисенко О. І., Чумаченко С. М., Ситник Ю. І. Напрямки вдосконалення природоохоронної діяльності в Збройних Силах України. К.: ННДЦ ОТ І ВБ України, 2006. 424 с.
4. Агробіорізноманіття України: теорія, методологія, індикатори, приклади : Кн. 1 / Созінов О.О. та ін.; Рада по вивч. продукт. сил України НАН України. Укр. центр менедж. землі та ресурсів. К.: ЗАТ «Нічлава», 2005. 384 с.
5. Агробіорізноманіття України: теорія, методологія, індикатори, приклади. Кн. 2 / Созінов О.О. та ін.; Рада по вивч. продукт. сил України НАН України, Укр. центр менедж. землі та ресурсів. К.: ЗАТ «Нічлава», 2005. 592с.
6. Лисиченко Г. В., Забулонов Ю. Л., Хміль Г. А. Природний, техногенний та екологічний ризики: аналіз, оцінка, управління. К.: Наукова думка, 2008. 542 с.
7. Лисиченко Г. В., Хміль Г. А., Барбашев С. В. Методологія оцінювання екологічних ризиків. О.: «Астропринт», 2011. 368 с.
8. Вторжение в природную среду. Оценка воздействия / Пер. с англ. А.Ю. Ретеюма. М.: Прогресс, 1983. 193 с.
9. Семенова Л. А. Зарубежный опыт оценок воздействия на природную среду. *Географическое обоснование экологических экспертиз*. М., МГУ, 1985. С. 17-32.
10. Экологическая оценка и экспертиза / Черп О. М.М.: Эколайн, 2000. 202 с.
11. Экологические системы. Адаптивная оценка и управление / Под ред. К-С.Холлинга. М.: Мир. 1981. 397 с.
12. Про розвиток поняття воєнна екологія / Лисенко О. І., Чеканова І. В., Чумаченко С. М., Турейчук А. М. *Наука і оборона*. 2004. № 3. С. 45-49.

13. Качинський А. Б. Екологічна безпека України: системний аналіз перспектив покращення. – К.: НІСД, 2001. 312 с.
14. Моисеев Н. Н. Математические задачи системного анализа. М.: Наука, 1981. 487 с.
15. Thorpe J., Godwin R. Threats to Biodiversity in Saskatchewan. Saskatoon: Saskatchewan Research Council, SRC Publication №. 11158-1C99, 1999. 75 с.
16. Margoluis R., Salafsky N. A Guide to Threat Reduction Assessment for Conservation / R. Margoluis,– Washington D.C.: Biodiversity Support Program, 2001. 43 с.
17. Чумаченко С. М., Дудкін О. В. Методика ранжування загроз біорізноманіттю за їх пріоритетністю. *Оцінка і напрямки зменшення загроз біорізноманіттю України*. К.: Хімджест, 2003. 400 с.
18. Методичні аспекти оцінки і ранжування загроз для біорізноманіття в Україні /Чумаченко С. М., Дудкін О. В., Коржнєв М. Н., Яковлев Є. О. К.: УІДНСПРНБОУ, Екологія і ресурси, Випуск 7, 2003. С. 77-83.
19. Чумаченко С. М., Парталіян А. С., Туровець Ю. С. Система підтримки прийняття рішень з управління екологічними загрозами у районі ведення бойових дій. *Зб. наук. пр. № 1 (83)*. К.: ЦНДІ ЗС України, 2018. С. 88–95.
20. Михайлова А.В. Застосування методу аналізу ієрархій для оцінювання загроз виникнення надзвичайних ситуацій в зоні проведення Операції Об'єднаних Сил. Міжнародний науковий журнал «Інтернаука», № 16/77, <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2019-16-5362>. С. 39-46.
21. Чумаченко С. М., Троцько В. В. Оцінювання загроз об'єктам критичної інфраструктури. Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека, № 1 (3), 2017. С. 41-47.

REFERENCES

1. Romanchenko I. S., Sbitnev A. I., Butenko S. H. (2006). *Ekolohichna bezpeka: ekolohichnyi stan ta metody yoho monitorynhu [Ecological safety: ecological condition and methods of its monitoring]*. Kyiv: MO Ukrainy, TsNDI ZS Ukrainy [in Ukrainian].
2. Romanchenko I. S., Lysenko O. I., Chumachenko S. M., Butenko S. H., Tureichuk A. M. (2009). *Matematychni modeli ta informatsiini tekhnolohii otsinky i prohnovuvannia stanu pryrodnoho seredovyscha vyprobuvalnykh polihoniv [Mathematical models and information technologies for assessing and forecasting the state of the natural environment of testing ground]*. Kyiv: MO Ukrainy, TsNDI ZS Ukrainy [in Ukrainian].
3. Lysenko O. I., Chumachenko, S. M. Sytnyk, Yu. I. (2006). *Napriamky vdoskonalennia pryrodookhoronno i diialnosti v Zbroinykh Sylakh Ukrainy [Directions for improving environmental activities in the Armed Forces of Ukraine]*. Kyiv: NNDTs OT I VB Ukrainy [in Ukrainian].
4. Sozinov O. O., Prydatko V. I., Tarariko O. H., Shtepa Yu. M., Kryzhanivskyi V. I. (2005). *Ahrobioriznomanittia Ukrainy: teoriia, metodolohiia, indykatory, pryklady [Agrobiodiversity of Ukraine: theory, methodology, indicators, examples]*. (Vol. 1). Kyiv: ZAT «Nichlava» [in Ukrainian].
5. Sozinov O. O., Prydatko V. I., Tarariko O. H., Shtepa Yu. M., Kryzhanivskyi V.II. (2005). *Ahrobioriznomanittia Ukrainy: teoriia, metodolohiia, indykatory, pryklady [Agrobiodiversity of Ukraine: theory, methodology, indicators, examples]*. (Vol. 1). Kyiv: ZAT «Nichlava» [in Ukrainian].
6. Lysychenko H. V., Zabulonov Yu. L., Khmil H. A. (2008). *Pryrodnyi, tekhnohennyi ta ekolohichnyi ryzyky: analiz, otsinka, upravlinnia [Natural, technogenic and ecological risks: analysis, assessment, management]*. Kyiv: Naukova dumka [in Ukrainian].
7. Lysychenko H. V., Khmil H. A., Barbashev S. V. (2011). *Metodolohiia otsiniuvannia ekolohichnykh ryzykiv [Methodology for assessing environmental risks]*. Odesa: «Astroprint» [in Ukrainian].
8. *Vtorzhenie v prirodnuyu sredu. Otsenka vozdeystviya [Environmental impact assessment]*. (1983). (A.Yu. Reteyum, Trans). Moscow: Progress [in Russian].
9. Semenova L. A. (1985). *Zarubezhnyy opyt otsenok vozdeystviya na prirodnuyu sredu [Foreign experience in assessing the impact on the natural environment]*. *Geograficheskoe obosnovanie ekologicheskikh ekspertiz–Geographical substantiation of ecological expertise*. (pp. 17-32). Moscow: MGU [in Russian].
10. Cherp O. M., Vinichenko, V. N., Khotuleva M. V., Molchanova Ya. P., Dayman S.Yu. (2000). *Ekologicheskaya otsenka i ekspertiza [Environmental assessment and expertise]*. Moscow: Ekolayn [in Russian].

11. Holling K.-S. (Eds.). (1981). *Ekologicheskie sistemy. Adaptivnaya otsenka i upravlenie [Ecological systems. Adaptive Assessment and Management]*. Moscow: Mir [in Russian].
12. Lysenko O.I., Chekanova I.V., Chumachenko S.M., Tureichuk A.M. (2004). Pro rozvytok poniattia voienno ekolohiia [On the development of the concept of military ecology]. *Nauka i oborona – Science and Defense*, 3, 45-49 [in Ukrainian].
13. Kachynskiy A.B. (2001). *Ekolohichna bezpeka Ukrainy: systemnyi analiz perspektiv pokrashchennia [Ecological security of Ukraine: a systematic analysis of prospects for improvement]*. Kyiv: NISD [in Ukrainian].
14. Moiseev N.N. (1981). *Matematicheskie zadachi sistemnogo analiza [Mathematical problems of system analysis]*. Moscow: Nauka [in Russian].
15. Thorpe J., Godwin R. (1999). *Threats to Biodiversity in Saskatchewan. SRC Publication №. 11158-1C99*. Saskatoon: Saskatchewan Research Council [in English].
16. Margoluis R.A., Salafsky N. (2001). *Guide to Threat Reduction Assessment for Conservation*. Washington D.C.: Biodiversity Support Program [in English].
17. Chumachenko S.M., Dudkin O.V. (2003). Metodyka ranzhuvannia zahroz bioriznomanittiu za yikh prior ytetnistiu [Methods for ranking biodiversity threats by their priority]. O.V. Dudkin (Eds.). *Otsinka i napriamky zmenshennia zahroz bioriznomanittiu Ukrainy – Assessment and directions of biodiversity threats in Ukraine*. Kyiv: Khimdzhest [in Ukrainian].
18. Chumachenko S.M., Dudkin O.V., Korzhniev M.N., Yakovlev Ye.O. (2003). Metodichni aspekty otsinky i ranzhuvannia zahroz dlia bioriznomanittia v Ukraini [Methodical aspects of assessment and ranking of threats to biodiversity in Ukraine]. *Ekolohiia i resursy – Ecology and Resources*, 7, 77-86 [in Ukrainian].
19. Chumachenko S.M., Partalian A.S., Turovets Yu.S. (2018). Systema pidtrymky pryiniattia rishen z upravlinnia ekolohichnykh zahrozamy u raioni vedennia boiovykh dii [System of decision support for the management of environmental threats in the area of hostilities]. *Zb. nauk. pr. – Collection of Scientific Works*, 1 (83), 88-95 [in Ukrainian].
20. Mykhailova A.V. (2019). Zastosuvannia metodu analizu iierarkhii dlia otsiniuvannia zahroz vynyknennia nadzvychainykh sytuatsii v zoni provedennia Operatsii Obiednanykh Syl [Application of the method of hierarchy analysis to assess the threats of emergencies in the area of the Joint Forces Operation]. *Mizhnarodnyi naukovyi zhurnal «Internauka» – International Scientific Journal "Internauka"*, 16/77, 39-46. Retrieved from <https://doi.org/10.25313/2520-2057-2019-16-5362> [in Ukrainian].
21. Chumachenko S. M. Ocinyuvannya zagroz obyektam krytychnoyi infrastruktury / S.M. Chumachenko, V.V. Troczko // *Naukovyj visnyk: Cyvilnyj zahyst ta pozhezhna bezpeka*, 1 (3), 2017. – 41-47 [in Ukrainian].

METHODS OF COMPREHENSIVE OPERATIONAL EXPERT ASSESSMENT OF MILITARY AND MAN-MADE THREATS IN THE UNITED FORCES OPERATION ZONE

*S. Chumachenko, Dr. Eng. Sc., SRF,
National University of Food Technology*

Ye. Morsch, Cand. Sc. (Eng.),

Department for Emergency Prevention of the State Emergency Service of Ukraine

A. Mykhailova, Cand. Sc. (Eng.),

Institute of Public Administration and Research in Civil Protection

A. Partalian, Cand. Sc. (Eng.),

Department of Environmental Safety and Mine Action of the Ministry of Defense of Ukraine

KEYWORDS

military and man-made threat,
expert assessment, united
forces operation, hostilities,
methods, influencing factors

ANNOTATION

This scientific paper describes the techniques and methods of application of the methods of complex operational expert assessment of military-man-made threats in the area of the United Forces operation in eastern Ukraine during hostilities. The proposed methods were tested in the predicted increase in the intensity of hostilities. Its application will enable the relevant bodies and units to quickly and comprehensively assess the military-man-made threats from hostilities in eastern Ukraine for the objects of socio-ecological and economic systems. As a result of analytical research of scientific sources, the main features of effective techniques and methods for assessing various types of threats, which are associated with the consequences of man-made nature, and can cause emergencies. The choice of criteria for a comprehensive operational assessment of military-man-made threats, in accordance with the methodology of building a conceptual model of risk assessment. The defined criteria were divided into three groups: the source of the threat, the route of the threat and the object of influence (recipient) of the threat. The article describes the algorithmic procedure and factors used for the operational assessment of military-man-made threats, as well as the main factors of negative impact of military-man-made threats, which are key for them. In the course of the research, a hierarchical classification of factors of complex operational threat assessment for the territory of the United Forces operation was developed. As a result, a system of equations is obtained, which takes into account various aspects of assessing the impact of threats on the objects of socio-ecological and economic systems. This system of equations will make it possible to model the change in military-man-made threats depending on changes in factors and evaluation criteria. This will allow for the rapid ranking of military-man-made threats to the area of the United Forces operation in eastern Ukraine and to develop recommendations for their reduction.

УДК 656.7

Сергій Мосов *д-р військ. наук, проф.,*
ORCID iD [0000-0003-0833-3187](https://orcid.org/0000-0003-0833-3187)
Інститут державного управління та
наукових досліджень з цивільного захисту,
E-mail: gurman63@ukr.net
Вадим Нероба,
ORCID iD [0000-0002-7232-3285](https://orcid.org/0000-0002-7232-3285)
Національна академія Державної
прикордонної служби України ім.
Б. Хмельницького
Олександр Сєлюков, *д-р техн. наук,*
старш. наук. співроб.,
ORCID iD [0000-0001-7979-3434](https://orcid.org/0000-0001-7979-3434)
Київський національний університет
будівництва і архітектури

ОСОБЛИВОСТІ ЗАСТОСУВАННЯ БЕЗПІЛОТНОГО ЛІТАЛЬНОГО АПАРАТА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

<https://doi.org/10.33269/nvcz.2020.1.34-41>

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 13.09.2020
Пройшла рецензування: 28.09.2020

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

Надзвичайна ситуація,
безпілотний літальний
апарат, спостереження.

АНОТАЦІЯ

У статті визначено умови і фактори, що впливатимуть на функціонування безпілотного літального апарата під час його застосування в надзвичайних ситуаціях. Метою дослідження обрано систематизацію умов і факторів, що впливатимуть на функціонування видових технічних засобів спостереження, встановлених на безпілотний літальний апарат. Дослідження умов і факторів проведено з попереднім визначенням загальних показників ефективності функціонування видових технічних засобів спостереження, що встановлюються на безпілотник, до яких віднесено: ймовірність виявлення та розпізнавання об'єкта оператором (пілотом-оператором) на екрані дисплея; масштаб зображення об'єкта на екрані дисплея; кут огляду видового технічного засобу спостереження; поперечне захоплення місцевості під час повітряного спостереження за допомогою видового технічного засобу; спектральний діапазон роботи видового технічного засобу спостереження і висота ведення спостереження. За результатами досліджень до складу умов і факторів віднесено: безпілотний літальний апарат; поставлене завдання на спостереження (моніторинг); особливості місцевості; управління з боку пілота (пілота-оператора); метеоумови; пориви вітру; пора року; час доби; вібрації безпілотника під час польоту; турбулентність атмосфери; управління видовими технічними засобами спостереження з боку оператора (пілота-оператора); температурний режим; наявність бібліотеки сигнатур об'єкта спостереження. Зроблено висновок про те, що результати дослідження умов і факторів, що впливатимуть на застосування видових технічних засобів спостереження, установлених на безпілотний літальний апарат, є підставою для розробки релевантних вимог до видових технічних засобів спостереження видимого та інфрачервоного діапазонів довжин хвиль електромагнітного спектру. Подальші дослідження мають відбуватися за такими напрямками: розробка чи закупівля безпілотних авіаційних комплексів для спостереження в ході попередження виникнення та ліквідації надзвичайних ситуацій; розробка бібліотек сигнатур об'єктів спостереження; дослідження можливостей застосування спектросональної чи багатоспектральної видової апаратури для спостереження; створення спеціальних навчальних полігонів для підготовки та допідготовки пілотів і операторів безпілотних літальних апаратів тощо.

Постановка проблеми. З метою упорядкування застосування безпілотних літальних апаратів (далі – БпЛА) у

територіальних підрозділах Державної служби України з надзвичайних ситуацій (далі – ДСНС) та організації їх державної реєстрації відповідно до пункту 3.2 розділу

III Правил реєстрації державних повітряних суден України [1] у ДСНС був виданий розпорядчий документ про допуск до експлуатації безпілотних літальних апаратів [2].

Згідно наказу до експлуатації була допущена низка різнотипних, але не професійних за призначенням БпЛА: DJI Phantom 2, DJI Phantom 2 Vision; DJI Phantom 3 Professional, DJI Phantom 3 SE; DJI Phantom 4, DJI Phantom 4 Pro V2.0, DJI Phantom 4 GL300E, DJI Phantom 4 Advanced і Hubsan H502S FPV. Наступним наказом ДСНС [3] перелік БпЛА, що допущені до експлуатації, був доповнений низкою безпілотників: DJI Matrice 100, DJI Matrice 200, DJI Matrice 210; DJI Mavic Air, DJI Mavic 2 Zoom і Yuneec Typhoon H.

Разом з тим, попередній аналіз широкого спектру завдань з повітряного спостереження (моніторингу), що виявилися необхідними для вирішення із застосуванням БпЛА в інтересах попередження та ліквідації надзвичайних ситуацій (далі – НС), вказав на відсутність систематизації умов і факторів, що впливають та впливатимуть на функціонування БпЛА і встановлених на них видових технічних засобів спостереження (далі – ВТЗС), внаслідок відсутності таких досліджень. Така ситуація здатна створити умови для виникнення низки аварій та катастроф і, відповідно, втрат БпЛА, особливо під час ліквідації НС.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питаннями, пов'язаними із дослідженнями щодо застосування БПЛА для вирішення завдань повітряного спостереження (моніторингу) займалася низка українських і зарубіжних фахівців та вчених: Л. М. Артюшин, Б. В. Войцехівський, М. Догерті, С. Душан, Ю. К. Зіатдінов, М. Котов, Ю. В. Коцуренко, В. Коцюрюба, І. В. Матала, С. П. Мосов, С. С. Невгад, А. Нікулін, Ю. М. Пашук, І. С. Руснак, С. М. Салій, Ю. П. Сальник, Т. Смет, С. А. Станкевич, А. Л. Фещенко, В. П. Харченко, О. В. Харченко, С. М. Чумаченко, І. А. Черепньов, Ю. К. Ребрін,

В. В. Хижняк, С. Цибуля, М. Ю. Яковлев та ін.

Разом з цим, питання систематизації умов і факторів, що впливають і впливатимуть на функціонування БпЛА і ВТЗС при виконанні завдань в умовах попередження та ліквідації НС залишаються в стані актуальних.

Мета статті. Здійснити систематизацію умов і факторів, що впливатимуть на функціонування БпЛА і встановлених на них ВТЗС.

Виклад основного матеріалу. Систематизація умов і факторів, що впливають і впливатимуть на функціонування БпЛА і ВТЗС під час попередження та ліквідації НС, пов'язана, у першу чергу, із визначенням загальних показників ефективності функціонування ВТЗС БпЛА. Це обумовлюється тим, що формування складу умов і факторів має відбуватися з врахуванням їхнього релевантного зв'язку з показниками ефективності.

Загальними показниками ефективності функціонування БпЛА з ВТЗС слід вважати: ймовірність P_z виявлення та розпізнавання об'єкта повітряного спостереження (моніторингу) оператором (пілотом-оператором) по його зображенню на екрані дисплея; масштаб m зображення об'єкта на екрані дисплея; кут огляду 2β ВТЗС БпЛА; поперечне захоплення Z місцевості під час повітряного спостереження (моніторингу) за допомогою ВТЗС БпЛА; спектральний діапазон $\Delta\lambda$ роботи ВТЗС БпЛА і висоту H (рис. 1) ведення спостереження (моніторингу) [4,5].

Ймовірність P_z виявлення та розпізнавання об'єкта в умовах попередження чи ліквідації НС, фактично, є ймовірністю виконання поставленого завдання по знаходженню об'єкта на місцевості та віднесенню її згідно класифікації [6] до виду, класу, підкласу або конкретному типу:

$$P_z = P_e P_p, \quad (1)$$

де, P_v – ймовірність виявлення об'єкта оператором ВТЗС БпЛА по його зображенню на екрані дисплея;

P_p – ймовірність розпізнавання об'єкта оператором ВТЗС БпЛА по його зображенню на екрані дисплея.

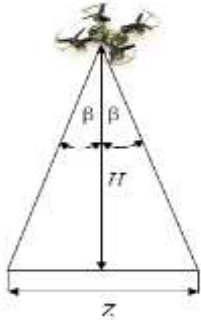


Рисунок 1 – Зв'язок між кутом огляду 2β , висотою спостереження H і поперечним захопленням Z місцевості

У загальному вигляді вираз для ймовірності P_z виявлення та розпізнавання об'єкта по його зображенню на екрані дисплея з урахуванням його контрасту й особливостей форми, просторова розрізненність ВТЗС БпЛА у польоті та масштабу зйомки можна представити таким чином [6]:

$$P_z = \exp \left[- \left(\frac{m}{(l/b)2R_{1.0}^1 \sqrt{\Delta D}} \right)^2 \right], \quad (2)$$

де, $R_{1.0}^1$ – просторова розрізненність ВТЗС БпЛА в польоті за контрастом $K=1.0$; l – максимальний лінійний розмір об'єкта спостереження (моніторингу) на місцевості; b – коефіцієнт форми об'єкта, який є статистичним коефіцієнтом, що визначає, яка частина об'єкта є істотною для її розпізнавання (для круглої форми, наприклад, $b = 1.36$); ΔD – тоновий контраст зображення об'єкта на екрані дисплея оператора БпЛА.

Слід зазначити, що досліджується ситуація за умов, коли розрізненність екрану дисплея не гірше розрізненності ВТЗС БпЛА.

При використанні відеокамери, багатоспектральної оптико-електронної або інфрачервоної оптико-електронної

камер в якості ВТЗС БпЛА треба враховувати залежність P_z від кутової швидкості руху зображення об'єкта спостереження (моніторингу) по екрану дисплея та рівня кваліфікації оператора [4, 7].

Масштаб m зображення на цифровому аерознімку, що виводиться на екран дисплея оператора (пілота-оператора) ВТЗС БпЛА, визначається таким відношенням [3]:

$$m = H / f, \quad (3)$$

де, f – фокусна (еквівалентна фокусна) відстань ВТЗС БпЛА.

Під кутом огляду 2β ВТЗС БпЛА розуміється кут у площині, перпендикулярній напрямку польоту БпЛА, у межах якого відтворюється зображення місцевості, де знаходяться об'єкти спостереження (моніторингу) (див. рис. 1). Кут огляду визначає поперечну ширину захвату Z місцевості ВТЗС під час польоту БпЛА в частках висоти H . Між H , 2β , m і Z існує жорсткий взаємозв'язок [4-6].

Розмір поперечного захоплення Z місцевості під час повітряного спостереження (моніторингу) за допомогою ВТЗС БпЛА визначається шириною ділянки місцевості, що спостерігається, у напрямку, перпендикулярному напрямку польоту БпЛА:

$$Z = 2Htg\beta. \quad (4)$$

Спектральний діапазон $\Delta\lambda$ роботи ВТЗС БпЛА визначається діапазоном довжин хвиль електромагнітного спектру, у межах якого здійснюється приймання відбитого об'єктом спостереження (моніторингу) чи ділянкою місцевості, де знаходиться об'єкт, сонячного випромінювання або власного (теплого) випромінювання об'єкта [8] внаслідок його нагрівання сонячною енергією.

Під висотою H ведення повітряного спостереження (моніторингу) за допомогою ВТЗС БпЛА слід розуміти гранично допустиму висоту польоту БпЛА, при якій забезпечується максимум

ймовірності P_z виявлення та розпізнавання об'єктів по їх зображенню на цифровому аерознімку, виведеному на екран дисплея оператора (пілота-оператора).

Визначення загальних показників ефективності функціонування ВТЗС БпЛА та їхніх складових дозволить конкретизувати сукупність умов і факторів, які впливатимуть на функціонування БпЛА і ВТЗС, що на ньому встановлені.

Платформою для розміщення ВТЗС є безпосередньо сам БпЛА. Безпілотник

здійснює польот в умовах впливу на нього низки факторів (рис. 2) [9-11]: надзвичайна ситуація; поставлене завдання щодо повітряного спостереження (моніторингу); особливості місцевості, де розташовані об'єкти спостереження (моніторингу); управління БпЛА з боку пілота (пілота-оператора); метеоумови; пориви вітру; пора року; час доби.

Класифікація НС наведена в Кодексі цивільного захисту України [12]

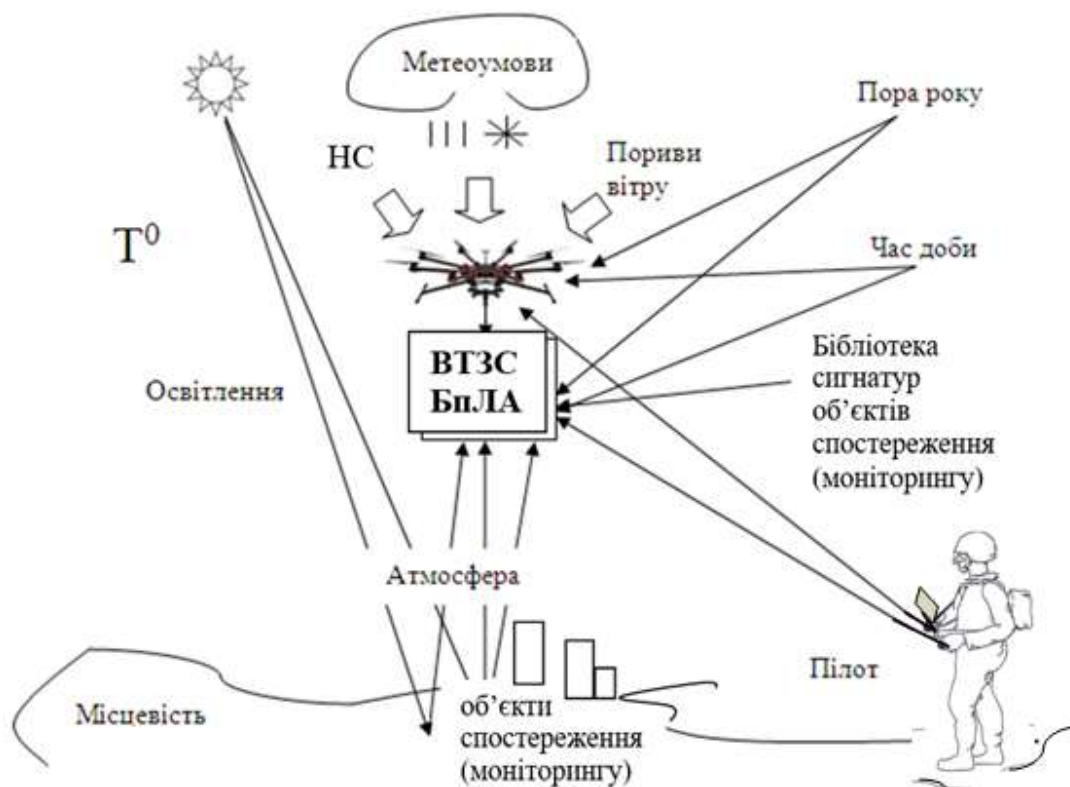


Рисунок 2 – Умови і фактори, що впливають і впливатимуть на функціонування ВТЗС БпЛА

Зміст завдання щодо повітряного спостереження (моніторингу) обумовлюється визначенням відповідних ділянок місцевості, а також вимогами до виявлення і розпізнавання об'єктів спостереження (моніторингу) – до виду, класу, підкласу та типу [4, 5]. Місцевість характеризується своїм рельєфом (рівнинна, горбиста, гориста тощо),

рослинним покривом, ґрунтом, маскувальними можливостями тощо [13].

Безпосереднє управління польотом БпЛА здійснює пілот або пілот-оператор. Якість управління залежить від наявності спеціальної авіаційної підготовки пілота (пілота-оператора), його фізіологічного стану, рівня практичної навченості управляти БпЛА в різноманітних умовах

(прості метеоумови, складні метеоумови; ранок; день; сутінки; ніч тощо), володіння тактичними прийомами застосування БПЛА для виконання завдань спостереження (моніторингу) в умовах різних за класифікацією НС і різноманітної місцевості [10, 11].

Метеорологічні умови здійснюють безпосередній вплив на застосування БПЛА. Це пов'язано з безпекою польотів БПЛА та управлінням його польотом у різних погодних умовах, а також під час виникнення різних атмосферних явищ (турбулентність атмосфери) [14]. Від рівня кваліфікації пілота (пілота-оператора) щодо управління БПЛА в простих і складних метеоумовах залежить результат виконання ним поставлених завдань щодо спостереження (моніторингу).

Важливим питанням є ступінь чутливості безпілотної до поривів вітру, які можуть призвести до аварії безпілотної та його повного знищення при падінні на місцевість. При сильному вітрі управління БПЛА значно ускладнюється. Небезпечними вважаються пориви вітру від 15-20 м/с.

Кожна пора року (весна, літо, осінь і зима) обумовлює відповідний стан метеоумов і особливості щодо виникнення турбулентності атмосфери, що, у свою чергу, впливає на безпеку польоту безпілотної. Температурний режим атмосфери здійснює вплив на експлуатаційні можливості БПЛА [8, 9].

Має значення і час доби (ранок, день, сутінки, ніч), бо впливає на зміну освітленості місцевості. Пілот (пілот-оператор) має бути підготовлений для управління БПЛА і застосування ВТЗС в умовах дня і ночі.

Треба також звернути увагу на вібрації самого безпілотної під час польоту, які обумовлюються впливом на нього метеоумов і турбулентності атмосфери, а також роботою двигунів БПЛА.

Як слідує з (3) масштаб m зображення на цифровому аерознімку, що виводиться на екран дисплея оператора (пілота-оператора) з ВТЗС БПЛА, залежить від висоти польоту H безпілотної при

фіксованій фокусній (еквівалентній фокусній) відстані f ВТЗС, або від відношення висоти польоту H до фокусної відстані f ВТЗС за умов наявності технічної можливості змінювати розмір фокусної відстані (оптичний зум).

Масштаб m зображення згідно (2) впливає на величину ймовірності P_z виявлення та розпізнавання об'єкта спостереження (моніторингу) оператором (пілотом-оператором) по його зображенню на екрані дисплея.

Атмосфера є середовищем, через яке проходить випромінювання, що несе інформацію про об'єкти повітряного спостереження (моніторингу). Вона послаблює як пряме сонячне випромінювання (див. рис. 2), так і відбите об'єктами або місцевістю, на який вони розташовані, шляхом його розсіювання. Також атмосфера розсіює теплове випромінювання об'єкта спостереження (моніторингу), що з'являється внаслідок його нагрівання сонячним випромінюванням [3]. Турбулентність атмосфери призводить до погіршення тонового контрасту ΔD зображення об'єкта спостереження (моніторингу) на екрані дисплея оператора БПЛА, що, у свою чергу, знижує ймовірність P_z виявлення та розпізнавання об'єкта.

Важливим фактором є освітленість місцевості, на якій знаходиться об'єкт спостереження (моніторингу). Освітленість залежить від умовної висоти сонця над горизонтом. При зміні висоти сонця від 10^0 до 90^0 освітленість змінюється приблизно в п'ять разів, а при переході від денних умов до нічних – у десять разів [4, 5]. Пора року, внаслідок траєкторії руху нашої планети навколо сонця, призводить до зміни так званої висоти сонця, що слід обов'язково враховувати під час планування повітряного спостереження (моніторингу) наземних об'єктів в інтересах попередження чи ліквідації НС.

Зміна температурного режиму значно впливає на тоновий контраст ΔD зображення об'єкта повітряного спостереження (моніторингу) на екрані

дисплея оператора БПЛА при застосуванні інфрачервоних ВТЗС [15].

Вібрації БПЛА під час польоту призводять до погіршення різкості зображення на екрані дисплея оператора БПЛА унаслідок виникнення лінійних і кутових переміщень ВТЗС, що стає причиною зсуву зображення в площині аерознімку. Для компенсації вібрацій БПЛА використовуються спеціальні стабілізаційні платформи, на які встановлюються ВТЗС на борту БПЛА [8, 16].

Важливе значення для отримання максимально можливого тонового контрасту ΔD і різкості зображення об'єкта повітряного спостереження (моніторингу) на екрані дисплея оператора БПЛА та його виявлення й розпізнавання має попередньо створена база сигнатур об'єктів. Це дозволить оператору (пілоту-оператору) визначити спектральні діапазони довжин хвиль $\Delta \lambda$ електромагнітного спектра, в яких треба вести спостереження (моніторинг) об'єктів в умовах попередження та ліквідації НС із застосуванням багатозональних ВТЗС БПЛА з метою максимізації імовірності P_z

виявлення та розпізнавання об'єктів по їх зображенням на екрані дисплея.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Систематизація умов і факторів, що впливатимуть на функціонування БПЛА і встановлених на них ВТЗС при виконанні завдань спостереження (моніторингу) об'єктів в умовах попередження чи ліквідації НС, дозволяє перейти до розробці вимог до ВТЗС БПЛА видимого та інфрачервоного діапазонів електромагнітного спектру.

Подальші дослідження мають відбуватися за такими напрямками: розробка чи закупівля безпілотних авіаційних комплексів для спостереження в ході попередження виникнення та ліквідації НС; розробка бібліотек сигнатур об'єктів повітряного спостереження (моніторингу) для різних НС; дослідження можливостей застосування спектральної чи багатоспектральної видової апаратури для спостереження (моніторингу); створення спеціальних навчальних полігонів для підготовки та допідготовки пілотів і операторів безпілотних літальних апаратів тощо.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Про затвердження Правил реєстрації державних повітряних суден України та Правил сертифікації екземпляра державного повітряного судна України : наказ Міністерства оборони України від 07.02.2012 № 63 (із змінами) // «Законодавство України» / ВР України. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0334-12#Text> (дата звернення 20.10.2020).
2. Про допуск до експлуатації безпілотних літальних апаратів : наказ ДСНС від 20.11.2018 № 675. URL: <https://www.dsns.gov.ua/ua/Nakazi/85780.html> (дата звернення: 10.07.2020 р.).
3. Про внесення змін до наказу ДСНС від 20.11.2018 № 675 : наказ ДСНС від 08.02.2019 №92. URL: <https://www.dsns.gov.ua/ua/Nakazi/89229.html> (дата звернення: 10.07.2020 р.)
4. Карпович И. Н. Военное дешифрирование аэроснимков. Москва: Воениздат, 1990. 544 с.
5. Мосов С. Аэрокосмическая разведка в современных военных конфликтах: монография. Киев: Изд. дом. «Румб», 2008. 248 с.
6. Живичин А. Н., Соколов В. С. Дешифрирование фотографических изображений. Москва: Надра, 1990. 246 с.
7. Колобродов В. Г., Лихоліт М. І. Проектування тепловізійних і телевізійних систем спостереження: підручник. Київ: НТТУ «КПІ», 2007. 364 с.
8. Мосов С. П., Станкевич С. А. Обґрунтування вимог до технічних характеристик засобів ведення розвідки пожеж із застосуванням безпілотних літальних апаратів. *Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека*. 2017. № 1(3). С.57-65.
9. Безпілотна авіація у військовій справі: кол. монографія / С. П. Мосов та ін. Київ: Інтерсервіс, 2019. 324 с.
10. Мосов С. П., Колесніков В. О. Вимоги до вибору безпілотних авіаційних комплексів для виконання завдань розвідки та спостереження. *Зб. наук. праць ЦВСД НУОУ*. Вип. №1 (56). 2016. С.24-28.

11. Догерти М. Дроны: первый иллюстрированный путеводитель по БПЛА; пер. с англ. В. Бычкова, Д. Евтушенко. Москва: Изд-во «Э», 2017. 224 с.
12. Кодекс цивільного захисту України. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text> (дата звернення: 10.07.2020 р.)
13. Міхно О. Г., Шмаль С. Г. Військова топографія: підручник. Київ: ВПЦ «Київський університет». 2008. 384 с.
14. ДСТУ 4091-2001. Авіаційна метрологія. Терміни та визначення основних понять [Чинний від 2002-04-30]. Київ: Держстандарт України, 2002. 21 с.
15. Ллойд Дж. Системы тепловидения; пер. с англ. Н. В. Васильченко, А. И. Горячев. Москва: Изд-во «Мир», 1978. 414 с.
16. Безпілотник PD-1 для ЗСУ містить комплектуючі виробництва США та Швейцарії і може перебувати в повітрі понад п'яти годин. URL: <https://milnavigator.com.ua/archives/11409> (дата звернення: 10.07.2019).

REFERENCES

1. Pravyla reiestratsii derzhavnykh povitrianykh suden Ukrainy: nakaz Ministerstva oborony Ukrainy vid 07.02.2012 № 63 (iz zminamy) [In Ukrainian].
2. Pro dopusk do ekspluatatsii bezpilotnykh litalnykh aparativ : nakaz DSNS vid 20.11.2018 № 675. URL: <https://www.dsns.gov.ua/ua/Nakazi/85780.html> (data zvernennia: 10.07.2020 r.) [In Ukrainian].
3. Pro vnesennia zmin do nakazu DSNS vid 20.11.2018 № 675 : nakaz DSNS vid 08.02.2019 №92. URL: <https://www.dsns.gov.ua/ua/Nakazi/89229.html> (data zvernennia: 10.07.2020 r.) [In Ukrainian].
4. Karpovich I. N. Voennoye deshifrirovaniye aerosnimkov. Moskva: Voenizdat, 1990. 544 s.
5. Mosov S. Aerokosmicheskaya razvedka v sovremennykh voyennykh konfliktakh: monografiya. Kiyev: Izd. dom. «Rumb», 2008. 248 s. [In Russian].
6. Zhivichin A. N., Sokolov V. S. Deshifrirovaniye fotograficheskikh izobrazheniy. Moskva: Nadra, 1990. 246 s. [In Russian].
7. Kolobrodov V. H., Lykholit M. I. Proektuvannya teploviziynykh i televiziynykh system sposterezhennya: pidruchnyk. Kyiv: NTUU «KPI», 2007. 364 s. [In Ukrainian].
8. Mosov S. P., Stankevych S. A. Obgruntuvannya vymoh do tekhnichnykh kharakterystyk zasobiv vedennya rozvidky pozhezh iz zastosuvanniam bezpilotnykh lital'nykh aparativ. Naukovyy visnyk: Tsyvil'nyy zakhyst ta pozhezhna bezpeka. 2017. № 1(3). S.57-65. [In Ukrainian].
9. Bezpilotna aviatsiya u viys'koviy spravi: kol. monohrafiya / S. P. Mosov, M. V. Pohorets'kyi, S. M. Saliy, O. V. Syelyukov, A. L. Feshchenko; za red. prof. S. P. Mosova. Kyiv: Interservis, 2019. 324 s. [In Ukrainian].
10. Mosov S. P., Kolesnikov V. O. Vymohy do vyboru bezpilotnykh aviatsiynykh kompleksiv dlya vykonannya zavdan' rozvidky ta sposterezhennya. Zb. nauk. prats' TSVSD NUOU. Vyp. №1 (56). 2016. S.24-28. [In Ukrainian].
11. Dogerti M. Drony: pervyy illyustrirovanny putevoditel' po BPLA; per. s angl. V. Bychkova, D. Yevtushenko. Moskva: Izd-vo «E», 2017. 224 s. [In Ukrainian].
12. Kodeks tsyvil'noho zakhystu Ukrayiny. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/5403-17#Text> (data zvernennya: 10.07.2020 r.) [In Ukrainian].
13. Mikhno O. H., Shmal' S. H. Viys'kova topohrafiya: pidruchnyk. Kyiv: VPTS «Kyivskyy universytet». 2008. 384 s. [In Ukrainian].
14. DSTU «Aviatsiyna metrolohiya. Terminy ta vyznachennya osnovnykh ponyat'». Kyiv: Derzhstandart Ukrainy, 2002. 21 s. [In Ukrainian].
15. Lloyd Dzh. Sistemy teplovideniya; per. s angl. N. V. Vasil'chenko, A. I. Goryachev. Moskva: Izd-vo «Mir», 1978. 414 s. [In Ukrainian].
16. Bezpilotnyk RD-1 dlya ZSU mistyt' komplektuyuchi vyrobnytstva SSHA ta Shveytsariyi i mozhe perebuvaty v povitri ponad p'yaty hodyn. URL: <https://milnavigator.com.ua/archives/11409> (data zvernennya: 10.07.2019) [In Ukrainian].

FEATURES OF USING A PILOTLESS AIRCRAFT IN EMERGENCY

S. Mosov, Dr. Mil. Sc., Prof.

Institute of Public Administration and Research in Civil Protection, Ukraine

V. Neroba

National Academy of the State Border Guard Service of Ukraine named after Bogdan Khmelnytsky, Ukraine

O. Sieliukov, Dr. Eng. Sc., SRF,

Kyiv National University of Construction and Architecture, Ukraine

KEYWORDS

ANNOTATION

emergency, pilotless aircrafts, observation.

The article identifies the conditions and factors that will affect the operation of unmanned aerial vehicles during its use in emergencies. The purpose of the study is to systematize the conditions and factors that will affect the functioning of specific technical means of surveillance installed on the pilotless aircrafts. The study of conditions and factors was carried out with a preliminary determination of the general indicators of efficiency of specific technical means of observation installed on the drone, which include: the probability of detection and recognition of the object by the operator (pilot-operator) on the display screen; the scale of the image on the display screen; viewing angle of the species technical means of observation; transverse capture of the area during aerial surveillance with the help of specific technical means; spectral range of operation of the species technical means of observation and the height of observation. According to the results of research, the conditions and factors include: pilotless aircrafts; set task for observation (monitoring); terrain features; control by the pilot (pilot-operator); weather conditions; gusts of wind; season; time of day; drone vibrations during flight; atmospheric turbulence; control of specific technical means of observation by the operator (pilot-operator); temperature regime; the presence of a library of signatures of the object of observation. It is concluded that the results of the study of conditions and factors that will affect the use of specific technical means of observation installed on an pilotless aircrafts are the basis for developing relevant requirements for specific technical means of observation of visible and infrared wavelengths of the electromagnetic spectrum. Further research should be carried out in the following areas: development or purchase of pilotless aircrafts for observation during the prevention and elimination of emergencies; development of libraries of signatures of objects of observation; research of possibilities of application of spectrozonal or multispectral species equipment for observation; creation of special training grounds for training and retraining of pilots and operators of pilotless, etc.

УДК 614.841

Вадим Ніжник, канд. техн. наук,
старш. наук. співроб.,

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

Юрій Фещук, канд. техн. наук,

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

Ярослав Балло, канд. техн. наук,

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

Олександр Тесленко,

ORCID iD [0000-0002-1003-8876](https://orcid.org/0000-0002-1003-8876)

Андрій Циганков

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

*Інститут державного управління та
наукових досліджень з цивільного захисту*

E-mail: 0502879336@ukr.net

МОДЕЛЮВАННЯ ОПЕРАТИВНОЇ ОБСТАНОВКИ В ЗОНІ ВІДЧУЖЕННЯ

<https://doi.org/10.33269/nvcz.2020.1.42-51>

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 13.09.2020

Пройшла рецензування: 28.09.2020

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

Зона відчуження, пожежно-рятувальні підрозділи, чисельність особового складу, місця дислокації, оперативна обстановка, моделювання обстановки

АНОТАЦІЯ

Визначено потенційні загрози та небезпеки на території зони відчуження та безумовного (обов'язкового) відселення. Проаналізовані статистичні данні щодо залучення техніки для гасіння пожеж в зоні відчуження. Проведено моделювання оперативної обстановки в зоні відчуження за чинниками кількості пожежної техніки, що залучається для обслуговування одного виклику, потік викликів та тривалість обслуговування пожежними підрозділами одного виклику. Визначені зони обслуговування існуючих пожежно-рятувальних підрозділів і лісових постів зони відчуження та встановлена їх оптимальна кількість за критерієм тривалості прибуття пожежного підрозділу.

Постановка проблеми. Актуальність роботи обумовлена об'єктивно існуючою динамікою зміни рівня загроз техногенного та природнього характеру на території зони відчуження та безумовного (обов'язкового) відселення (далі – Зона відчуження), збільшенням обсягів завдань, що вирішуються оперативно-рятувальними підрозділами Державної служби України з надзвичайних ситуацій (далі – ДСНС України), необхідністю забезпечення достатнього рівня безпеки людей, що перебувають, працюють та проживають на території Зони відчуження.

За період з 1993 по 2018 рік на території Зони відчуження зафіксовано 1566 пожеж, що охопили 20723,3 га

забруднених радіонуклідами площ. Аналіз даних показує пожежні максимуми у 1995, 1999, 2002, 2009 та 2015 роках. У 2019 році зафіксовано 35 пожеж на площі 167,23 га. Середня площа однієї пожежі складає 4,78 га, що у 4,3 рази більше середньої площі пожежі на землях державного лісового фонду за межами Зони відчуження (середня площа пожежі – 1,1 га). За період з 1993 по 2019 рік на території Зони відчуження зафіксовано 1566 пожеж, що охопили 20723,3 га забруднених радіонуклідами площ.

Найбільшу небезпеку становлять великі пожежі. Згідно зі статистикою, на території Зони відчуження за період 1993–2019 років зафіксована 121 велика пожежа

(5–200 га) і 3 – особливо великі пожежі (понад 200 га).

Такий стан із пожежами у зоні відчуження потребує проведення моделювання її оперативної обстановки, результати чого можуть стати підґрунтям для розроблення пропозицій щодо організації реагування на надзвичайні ситуації підрозділами ДСНС України в зазначеній зоні.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Питанням дослідження необхідної чисельності особового складу пожежно-рятувальних підрозділів присвячено ряд праць [1-5]. В них розглянуті різні методи їх визначення.

Порядок визначення чисельності особового складу пожежно-рятувальних підрозділів, визначений у посібнику [6], базується на нормах виконання певних робіт залежно від складності пожежі, однак в ньому не враховуються певні фактори, пов'язані з особливістю функціонування Зони відчуження та ряду унікальних технологічних об'єктів, які були введені в експлуатацію за останні роки, а це не дає можливість визначити кількість сил та засобів, яка повинна постійно знаходитись на оперативному чергуванні. У посібнику [7] визначено тактико-технічні характеристики пожежно-технічного озброєння та обладнання, але відсутня повноцінна методологія визначення сил та засобів, що необхідні для гасіння пожеж, яка б максимально близько відображала розрахункову необхідну кількість сил та засобів до реальних умов.

У роботі [5] приведені дані про основи системного аналізу, математичного моделювання, методів обробки статистичних даних, основ теорії ймовірності, моделювання оперативної обстановки і процесу функціонування пожежної охорони.

Аналіз літературних джерел показав, що універсального підходу для визначення необхідної чисельності особового складу, сил та засобів як підрозділів оперативно-рятувальної служби цивільного захисту

так і підрозділів відомчої пожежної охорони не існує. У зв'язку з унікальною специфікою Зони відчуження кількість особового складу та пожежно-рятувальної техніки, що необхідні для залучення на гасіння пожеж потребує наукового обґрунтування із використанням статистичних методів, ймовірнісних методів та методів системного аналізу.

Метою статті є обґрунтування методичних підходів щодо визначення необхідної кількості сил та засобів та визначення їх зон обслуговування для гасіння пожеж шляхом проведення моделювання оперативної обстановки у Зоні відчуження.

Для досягнення поставленої мети сформовані наступні задачі:

визначити основні загрози та небезпеки Зони відчуження;

провести аналіз статистичних даних щодо залучення пожежно-рятувальної техніки для гасіння пожеж;

запропонувати математичні моделі для моделювання оперативної обстановки у зоні відчуження;

провести моделювання оперативної обстановки в зоні відчуження за такими чинниками: кількість пожежної техніки, що залучається для обслуговування одного виклику; потік викликів; тривалість обслуговування пожежними підрозділами одного виклику;

визначити зони обслуговування існуючих пожежно-рятувальних підрозділів і лісових постів та встановити їх оптимальну кількість.

Виклад основного матеріалу дослідження. На даний час Зона відчуження розподілена на Чорнобильський радіаційно-екологічний біосферний заповідник (дві третини території Зони відчуження (227 тис. га)) та зону поводження з радіоактивними відходами. Основними загрозами на території Біосферного заповідника є лісові та торф'яні пожежі (150 тис. га хвойних лісових масивів та 7 тис. га торфовищ).

Захист від пожеж лісів Зони відчуження Державне агентство України з

управління зоною відчуження (далі – ДАЗВ) здійснює через підпорядковану йому відомчу пожежну охорону, яка створена на базі 5 лісових пожежних станцій ДСП «Північна пуща», чисельність їх складається із 96 осіб (на вахтовому чергуванні 48 осіб) та 50 од. техніки (35 справних одиниць).

Серед ключових об'єктів, що знаходяться на території Зони відчуження є Зона поводження з радіоактивними відходами (32 тис. га), це прилегла до атомної електростанції територія, де розташовані: об'єкти з наявністю радіоактивних речовин – енергоблоки № 1, 2, 3 АЕС, об'єкт «Укриття» над пошкодженим енергоблоком № 4, завод з переробки рідких радіоактивних відходів, промисловий комплекс для поводження з твердими радіоактивними відходами, два сховища відпрацьованого ядерного палива, комплекс з переробки та захоронення радіоактивних відходів «Вектор», три пункти захоронення та дев'ять пунктів тимчасової локалізації радіоактивних відходів.

Реагування на надзвичайні ситуації, пожежі та інші небезпечні події на території Зони відчуження забезпечується 11-тим Державним пожежно-рятувальним загonom ГУ ДСНС України у Київській області (2 пожежно-рятувальні частини) загальною чисельністю понад 230 чоловік особового складу та 33 одиниці пожежної та спеціальної техніки. Крім того відомча пожежна охорона ДАЗВ має чотири лісові пожежні станції та вісім пожежно-спостережних веж.

Радіаційний контроль ситуації забезпечує 13 пунктів контролю приземного шару атмосфери ДСП «Екоцентр» та мобільний пристрій для відбору проб повітря у місцях гасіння вогню.

Зазначені умови, в яких здійснюють діяльність підрозділи пожежної охорони зони відчуження, використаємо для побудови математичних моделей моделювання оперативної обстановки зони відчуження. Під оперативною

обстановкою слід розуміти чинники, що склалися у зоні відчуження за 2019 рік, які впливають на процеси реагування на загрози. Одним із важливих чинників оперативної обстановки є кількість пожежних автомобілів (X), що залучаються для обслуговування одного виклику. Для опису цієї випадкової величини можливо вказати закон її розподілу згідно з [5], що можна виразити як:

$$P\{X = k\} = a_k \quad (k = 1, 2, 3, \dots) \quad (1)$$

де $P\{X = k\} = a_k$ – ймовірність того, що по виклику виїжджає (k) автоцистерн.

При цьому, повинна виконуватися умова:

$$\sum_{k=1}^{\infty} a_k = 1 \quad (2)$$

За результатом аналізу статистичних даних пожеж, що сталися на території Зони відчуження протягом 2019 року розроблено зведену таблицю щодо фактичної кількості залученої техніки для ліквідації пожеж. Отримані результати не враховують додаткове залучення допоміжної техніки з гарнізону чи сусідніх областей, а також залучення авіації. Також під час проведення розрахунків слід враховувати, що розрахунок ймовірності пожеж та динаміка їх виникнення не враховує пожежонебезпечні періоди (зокрема літній сезон), які є більш пожежонебезпечними упродовж року та впливають на значення коефіцієнтів нерівномірності подій. Результати розрахунків наведено в табл. 1. За результатами отриманих даних, побудовано графік (рис. 1) залежності ймовірностей одночасної кількості техніки, що виїжджає на одну пожежу.

Результати розрахунків свідчать про те, що в зоні відчуження найчастіше для обслуговування одного виклику залучаються від 4 до 7 одиниць пожежної-рятувальної техніки. Тому для визначення кількості особового складу для

забезпечення нормативного реагування на пожежі в Зоні відчуження пропонується визначати виходячи із частоти залучення пожежних автомобілів основного

призначення ДСНС України, а саме: не менше ніж 7 одиниць.

Таблиця 1 – Зведений аналіз статистичних даних щодо залучення техніки для ліквідації надзвичайних ситуацій

Кількість техніки	1	2	3	4-7	8-22	≥23
Кількість виїздів	10	19	16	32	8	0
Емпірична ймовірність залучення	0,11	0,21	0,17	0,35	0,09	0

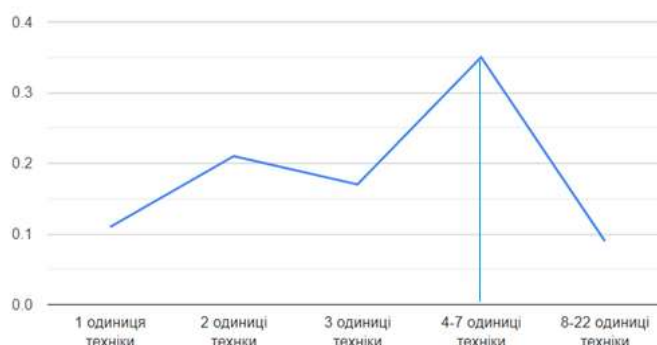


Рисунок 1 – Ймовірність залучення пожежно-рятувальної техніки

Другим важливим чинником оперативної обстановки є потік викликів пожежних підрозділів (Р), продовж певного проміжку часу. Для опису потоку викликів пожежних підрозділів можливо використати лінійне диференціальне рівняння першого порядку [5]:

$$p_k(\tau) = \frac{(\gamma\tau)^k}{k} e^{-\gamma\tau} \quad (3)$$

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

τ – проміжок часу;

k – кількість викликів пожежних підрозділів.

Визначення потоку викликів пожежних підрозділів за певний проміжок часу можливо за допомогою закону Пуассона [5]:

$$M(P) = \gamma\tau \quad (4)$$

Рівняння (4) означає, що якщо випадкова величина Р розподілена по закону Пуассона, то її математичне

очікування $M(P)$ і дисперсія дорівнюють $\gamma\tau$.

Провівши чисельний аналіз статистичних даних із використанням формул (3) та (4) зроблено наступні висновки:

95% часу впродовж року пожежно-рятувальні підрозділи зони відчуження перебувають в режимі чергування (без викликів);

438 годин на рік гасять поодинокі пожежі;

8 годин на рік гасять одночасно дві пожежі;

1,5 години на рік гасять одночасно три пожежі.

Таким чином, результати аналізу оперативної обстановки Зони відчуження свідчать про те, що можливі випадки одночасних двох і трьох пожеж, а це необхідно враховувати під час визначення чисельності пожежно-рятувальних підрозділів.

Третім важливим чинником оперативної обстановки є середній час обслуговування пожежними підрозділами

одного виклику (далі – середній час обслуговування). Для опису цієї

випадкової величини використаємо формули (1) та (2).

Таблиця 2 – Розподіл викликів за часом обслуговування

Інтервал часу τ , хв.	0-60	60-120	120-180	180-240	240-300	300-360	360-420	420-480 >
	0 – 1 год	1 – 2 год	2 – 3 год	3 – 4 год	4 – 5 год	5 – 6 год	6 – 7 год	7 – 8 год
Емпірична частота (число викликів)	11	22	13	10	7	5	6	19
Відносна частота	0,12	0,25	0,14	0,10	0,07	0,05	0,06	0,21

На основі статистичних даних проведено розрахунки щодо середнього часу обслуговування одного виклику. Час обслуговування викликів пожежно-рятувальних підрозділів умовно розбиваємо на 8 інтервалів, а саме: 0 – 1 год, 1 – 2 год, 3 – 4 год, 4 – 5 год, 5 – 6 год, 7 год і більше. Здійснюємо розподіл по інтервалам та визначаємо середній час обслуговування (табл. 2).

Середній час обслуговування одного виклику знаходимо за формулою (5):

$$\tau_{\text{обсл}} = \frac{\sum_{k=1}^n m_k \left(\frac{\tau_k + \tau_{k+1}}{2} \right)}{\sum_{k=1}^n m_k} \quad (5)$$

де m_k – кількість викликів у тому або іншому інтервалі часу;

τ_k – нижня границя інтервалу;

τ_{k+1} – верхня границя інтервалу (вона ж є нижньою для наступного інтервалу);

n – кількість інтервалів.

Звідси, середній час обслуговування 1 виклику становить $\tau_{\text{ср}} = 259,12 \text{ хв} = 4,3 \text{ год}$.

На основі даних табл. 2, побудуємо графік розподілу викликів за часом обслуговування викликів (Рис. 2).

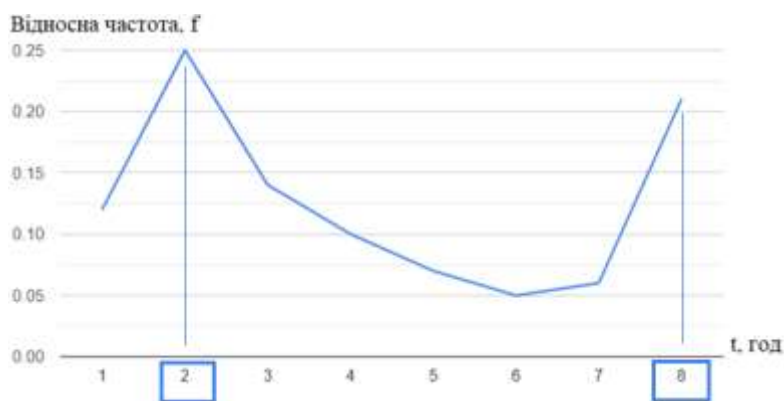


Рисунок 2 – Розподіл викликів за часом обслуговування викликів

За результатом проведених розрахунків встановлено, що час обслуговування викликів пожежно-рятувальних підрозділів в 25 % випадків

складає до 2 годин і в 22% випадків становить 7-8 годин.

Під час проведення обґрунтування щодо організації реагування на надзвичайні ситуації підрозділами ДСНС

України, слід враховувати, що при проведенні робіт в Зоні відчуження діють Правила [8], які визначають вимоги протирадіаційного захисту персоналу на всіх етапах здійснення протиаварійних заходів та контрзаходів щодо ліквідації та мінімізації наслідків Чорнобильської катастрофи, а також практичної діяльності у Зоні відчуження з метою обмеження опромінення персоналу, який виконує роботи у цій зоні в межах радіаційно-гігієнічних регламентів першої групи, встановлених Нормами [9].

За результатом аналізу розташування існуючих об'єктів, наявних доріг та місць фактичного розміщення пожежно-рятувальних підрозділів, створено карту зони обслуговування наявних пожежно-рятувальних частин та постів з врахуванням 20 хв часу прибуття згідно з вимогами, що визначені [10]. Карта зони обслуговування наявних пожежно-рятувальних підрозділів та постів зони відчуження наведено на рис. 3.

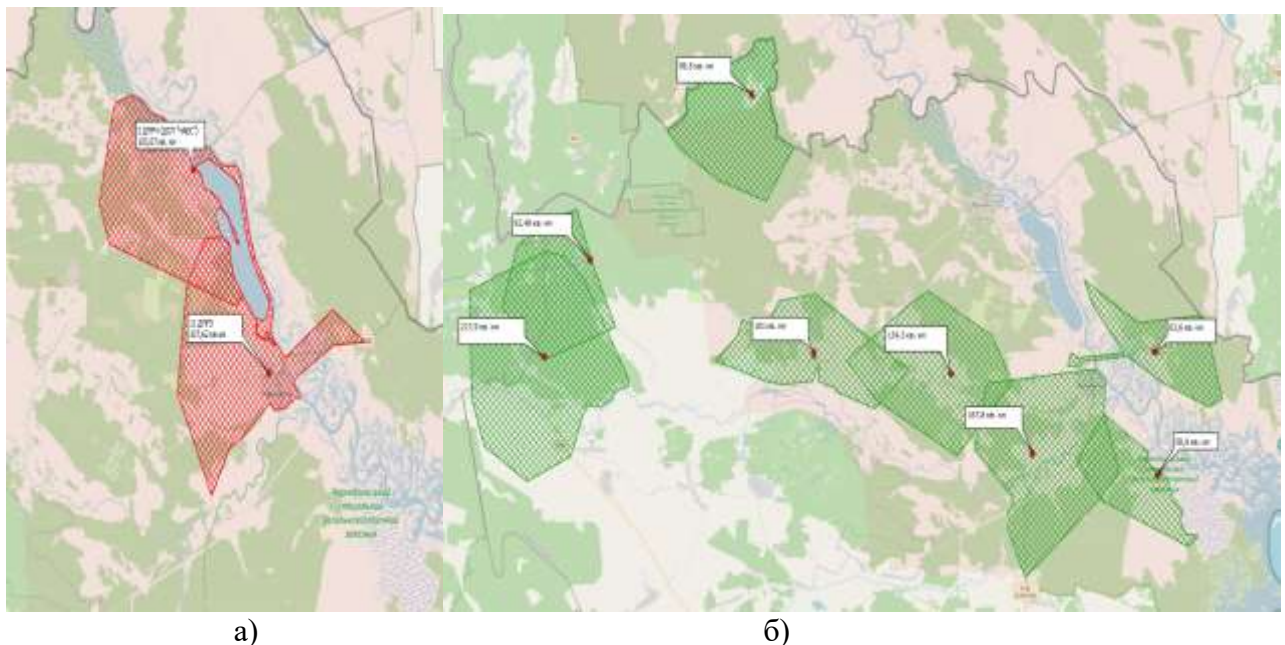
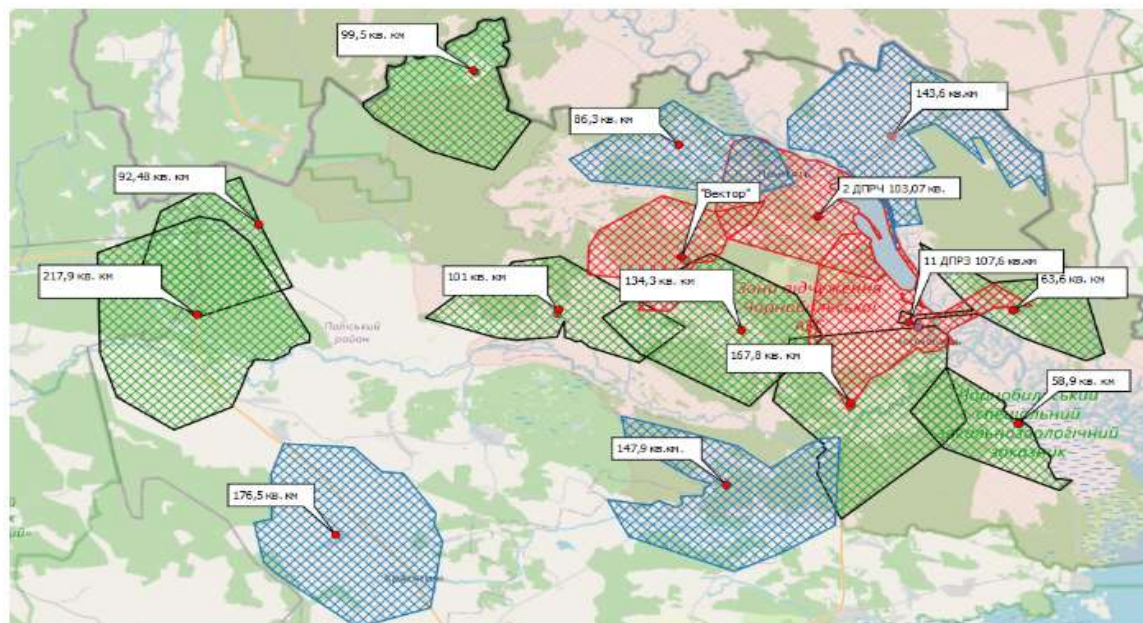


Рисунок 3 – Зони обслуговування:

- а) наявних пожежно-рятувальних підрозділів;
- б) постів зони відчуження



Рисунк 4 – План зон обслуговування розрахунково-необхідних місць дислокації пожежно-рятувальних частин

За результатами моделювання місць дислокації пожежних підрозділів встановлено, що наявні пожежно-рятувальні підрозділи та їх зони обслуговування з врахуванням 20 хв часу прибуття, згідно з вимогами [10], забезпечують покриття близько 29% наявних територій Зони відчуження та близько 74% наявних діючих об'єктів. Для можливості оцінки забезпечення до 100% покриття діючих об'єктів, розробимо карту (рис. 4) із нормативно необхідними місцями дислокації пожежно-рятувальних підрозділів (позначено синьою штриховкою) та перспективного пожежного посту на промисловому комплексі «Вектор».

Висновки. Вперше встановлено емпіричну залежність залучення пожежно-рятувальної техніки ДСНС України на ліквідацію пожеж в Зоні відчуження впродовж року від їх кількості. Виявлено, що найчастіше для гасіння пожеж залучається від 4 до 7 одиниць пожежно-рятувальної техніки ДСНС України. Таким чином, кількість особового складу для забезпечення належного реагування на пожежі в Зоні відчуження можливо визначити виходячи із [11].

Крім того, під час визначення кількості особового складу для забезпечення належного реагування на пожежі в Зоні відчуження слід враховувати ймовірність залучення більше ніж 22 одиниць пожежних автомобілів основного призначення та можливість виникнення одночасних пожеж, яка для даної зони становить: 8 годин на рік можливе одночасне гасіння двох пожеж; 1,5 годин на рік можливе одночасне гасіння трьох пожеж.

Встановлено, що наявні пожежно-рятувальні підрозділи ДСНС створюють умови для нормативного реагування на території площею близько 8% від загальної площі зони відчуження та близько 52% наявних діючих об'єктів.

Із урахуванням існуючих зон обслуговування лісових постів та пожежно-рятувальних підрозділів створюють умови для нормативного реагування на території площею близько 29% від загальної площі зони відчуження та близько 74% наявних діючих державних об'єктів.

За результатом проведених розрахунків, для забезпечення нормативного реагування на пожежі на існуючих об'єктах в зоні відчуження, слід

додатково забезпечити 4 місця дислокації сил та засобів пожежно-рятувальних підрозділів, а також забезпечити

функціонування пожежного посту на території комплексу «Вектор».

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Пожежна тактика: підручник / Клюс П. П. та ін. Х. : Основа, 1998. 592 с.
2. Клюс П. П., Палюх В. Г., Росоха В. О. Тактична і психологічна підготовка особового складу пожежної охорони : підручник. Х: Основа, 2002. 288 с.
3. Иванников В. П., Клюс П. П. Справочник руководителя тушения пожара. М: Стройизат, 1987. 287 с.
4. Сенчихин Ю. Н., Сировой В. В., Росоха С. В. Нормативні показники та порядок визначення загальної чисельності особового складу, оперативних відділень для гасіння пожеж. *Проблемы пожарной безопасности*: Зб. наук. пр. НУЦЗ України. Вип. 37. Харків: 2015. С. 196-200.
5. Брушлинский Н. Н. Системный анализ деятельности государственной противопожарной службы : учебник. М. : МИПБ МВД России, 1998. 255 с.
6. Аналітичні розрахунки для обґрунтування оперативних дій пожежно-рятувальних підрозділів. Практикум : навчальний посібник / Сировий В. В., Сенчихін Ю. М., Ушаков Л. В., Бабенко О. В. Харків: НУЦЗУ, 2010. 262 с.
7. Клюс П. П., Палюх В. Г. Тактические возможности пожарных подразделений. Харьков: ХИСИ-ХПТУ, 1993. 201 с.
8. Про затвердження Правил радіаційної безпеки при проведенні робіт в зоні відчуження і зоні безумовного (обов'язкового) відселення : наказ МОЗ та МНС України від 04 квітня 2008 р. № 179/276 // «Законодавство України» / ВР України. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0754-08#Text> (дата звернення 20.10.2020).
9. ДГН 6.6.1.-6.5.001-98. Державні гігієнічні нормативи. Норми радіаційної безпеки України (НРБУ-97). [Чинний від 12.07.2000]. Київ. 1998. 21 с.
10. Про затвердження критеріїв утворення державних пожежно-рятувальних підрозділів (частин) Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту в адміністративно-територіальних одиницях та переліку суб'єктів господарювання, де утворюються такі підрозділи (частини) : постанова Кабінету Міністрів України від 27 листопада 2013 р. №874. // «Законодавство України» / ВР України. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/874-2013-%D0%BF#Text> (дата звернення 20.10.2020).
11. Статут дій органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту під час гасіння пожеж : наказ МНС України від 26 квітня 2018 р. № 340. // «Законодавство України» / ВР України. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0801-18#Text> (дата звернення 20.10.2020).

REFERENCES

1. Pozhezhna taktyka: pidruchnyk / Klius P. P. ta in. Kh. : Osnova, 1998. 592 s. [in Ukrainian].
2. Klius P. P., Paliukh V. H., Rosokha V. O. Taktychna i psykholohichna pidhotovka osobovoho skladu pozhezhnoi okhorony : pidruchnyk. Kh: Osnova, 2002. 288 s. [in Ukrainian].
3. Yvannykov V. P., Klius P. P. Spravochnyk rukovodytelia tushenya pozhara. M: Stroyizat, 1987. 287 s. [in Russian].
4. Senchykhyn Yu. N., Syrovoy V. V., Rosokha S. V. Normatyvni pokaznyky ta poriadok vyznachennia zahalnoi chyselnosti osobovoho skladu, operatyvnykh viddilen dla hasinnia pozhezh. *Problemy pozharnoi bezopasnosti*: Zb. nauk. pr. NUTsZ Ukrainy. Vyp. 37. Kharkiv: 2015. S. 196-200. [in Ukrainian].

5. Brushlynskyi N. N. Systemnyi analiz deiatelnosti gosudarstvennoi protyvpozharnoi sluzhby : uchebnyk. M. : MYPB MVD Rossyy, 1998. 255 s. . [in Russian].
6. Analitychni rozrakhunky dlia obgruntuvannia operatyvnykh dii pozhezhno-riatuvalnykh pidrozdiliv. Praktykum : navchalnyi posibnyk / Syrovyi V. V., Senchykhin Yu. M., Ushakov L. V., Babenko O. V. Kharkiv: NUTsZU, 2010. 262 s. [in Ukrainian].
7. Klius P. P., Paliukh V. H. Taktycheskiye vozmozhnosti pozharnykh podrazdeleniy. Kharkov: KhYSY-KhPTU, 1993. 201 s. . [in Russian].
8. Pro zatverdzhennia Pravyl radiatsiinoi bezpeky pry provedenni robit v zoni vidchuzhennia i zoni bezumovnoho (oboviazkovoho) vidselennia : nakaz MOZ ta MNS Ukrainy vid 04 kvitnia 2008 r. № 179/276 // «Zakonodavstvo Ukrainy» / VR Ukrainy. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0754-08#Text> (data zvernennia 20.10.2020) [in Ukrainian].
9. DHN 6.6.1.-6.5.001-98. Derzhavni hihiiienichni normatyvy. Normy radiatsiinoi bezpeky Ukrainy (NRBU-97). [Chynnyi vid 12.07.2000]. Kyiv. 1998. 21 s. [in Ukrainian].
10. Pro zatverdzhennia kryteriiv utvorennia derzhavnykh pozhezhno-riatuvalnykh pidrozdiliv (chastyn) Operatyvno-riatuvalnoi sluzhby tsyvilnoho zakhystu v administratyvno-terytorialnykh odynitsiakh ta pereliku subiektiv hospodariuvannia, de utvoriuiutsia taki pidrozdily (chastyny) : postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 27 lystopada 2013 r. №874. // «Zakonodavstvo Ukrainy» / VR Ukrainy. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/874-2013-%D0%BF#Text> (data zvernennia 20.10.2020) [in Ukrainian].
11. Statut dii orhaniv upravlinnia ta pidrozdiliv Operatyvno-riatuvalnoi sluzhby tsyvilnoho zakhystu pid chas hasinnia pozhezh : nakaz MVS Ukrainy vid 26 kvitnia 2018 r. № 340. // «Zakonodavstvo Ukrainy» / VR Ukrainy. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0801-18#Text> (data zvernennia 20.10.2020) [in Ukrainian].

MODELING OF THE OPERATIONAL SITUATION IN THE EXCLUSION ZONE

V. Nizhnyk, *Cand. Sc. (Eng.) SRF*; Y. Feshchuk, *Cand. Sc. (Eng.)*; Ya. Ballo, *Cand. Sc. (Eng.)*; O. Teslenko;
A. Tsyhankov

Institute of Public Administration and Research on Civil Defense, Ukraine

KEY WORDS

Exclusion zone, fire and rescue units, number of personnel, locations, operational situation, simulation of the situation

ANNOTATION

The urgency of the work is due to the objective dynamics of changes in the level of man-made and natural threats in the exclusion zone and unconditional (compulsory) resettlement, increasing the volume of tasks solved by operational and rescue units of the State Emergency Service of Ukraine, the need for security people who are, work and live in the Exclusion Zone.

Potential threats and dangers in the exclusion zone and unconditional (compulsory) resettlement have been identified.

The analysis of statistical data on the involvement of fire and rescue equipment for firefighting. The empirical dependence of the involvement of fire and rescue equipment of the State Emergency Service of Ukraine on the elimination of fires in the exclusion zone during the year on their number has been established. It was found that most often 4 to 7 units of fire and rescue equipment of the State Emergency Service of Ukraine are involved in extinguishing fires. Based on the processing of numerical analysis of statistical data, the following conclusions were made: 95% of the time during the year, fire and rescue units are on duty (without calls); 438 hours a year put out single fires; Two hours a year, two fires are extinguished simultaneously.

The analysis of calls by service time is carried out. It is established that the service time of calls of fire and rescue units in 25% of cases is up to 2 hours and in 22% of cases is 7-8 hours.

An assessment of the locations of fire and rescue units and forest posts with the definition of their service areas. As a result of calculations, it was established that to ensure the normative response to fires at existing facilities in the exclusion zone, it is necessary to provide 4 additional locations of forces and means of fire and rescue units, as well as to ensure the functioning of the fire station on the Vector complex.

УДК 614.841.45

Сергій Новак канд. техн. наук,
старш. наук. співроб.,

ORCID iD [0000-0001-7087-318X](https://orcid.org/0000-0001-7087-318X)

Олександр Добростан, канд. техн. наук,

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

Інститут державного управління та
наукових досліджень з цивільного захисту,

E-mail: dob2009@ukr.net

Варвара Дрідж, канд. техн. наук,

ORCID iD [0000-0003-2507-7007](https://orcid.org/0000-0003-2507-7007)

Наукове-виробниче підприємство
«Спецматеріали»

ВОГНЕСТІЙКІСТЬ СТАЛЕВИХ ПОВІТРОВОДІВ З КОМБІНОВАНОЮ СИСТЕМОЮ ВОГНЕЗАХИСТУ

<https://doi.org/10.33269/nvcz.2020.1.52-65>

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 02.10.2020
Пройшла рецензування: 15.10.2020

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

вогневий вплив,
вогнезахист, вогнестійкість,
повітровід, система
вогнезахисту, реактивний
вогнезахисний матеріал,
пасивний вогнезахисний
матеріал,
теплоізолювальна
здатність, цілісність

АНОТАЦІЯ

Наведено результати дослідження вогнестійкості сталевих повітроводів з комбінованою системою вогнезахисту в умовах вогневого впливу за стандартним температурним режимом згідно з ДСТУ Б В.1.1-4. Досліджували сталеві повітроводи, в конструкції яких застосовано дві системи вогнезахисту, в яких використовують пасивний вогнезахисний матеріал (склополотно «ИПС-Т-1000») і реактивні вогнезахисні матеріали («Ендотерм ХТ-150» та «Ендотерм 250103»). Застосовано методику дослідження, яка ґрунтується на положеннях ДСТУ Б В.1.1-16. Сутність цієї методики полягає в тому, що зразки сталевих повітроводів встановлюють у вертикальну опорну конструкцію печі і піддають вогневому впливу. За отриманими експериментальними даними оцінюють цілісність і теплоізолювальну здатність повітроводів. За результатами дослідження визначено особливості розподілу температури на необігрівній поверхні повітроводів в умовах вогневого впливу і характеристики вогнестійкості сталевих повітроводів з комбінованою системою вогнезахисту. Показано, що найбільші значення температура має на необігрівній поверхні повітроводу біля місця його ущільнення у вертикальній огорожувальній конструкції. Встановлено проміжок часу до досягнення втрати теплоізолювальної здатності повітроводів і клас їхньої вогнестійкості, який становить EI 45. Визначено напрям подальших досліджень, які орієнтовані на виявлення залежностей між проміжком часу до досягнення втрати теплоізолювальної здатності і товщиною шарів комбінованої системи вогнезахисту для сталевих повітроводів.

Постановка проблеми. Згідно з Регламентом ЕС № 305/2011 [1], Технічним регламентом [2] та державними будівельними нормами [3] однією з основних вимог до будівель є обмеження поширення в них вогню і диму під час пожежі. Одним із способів обмеження поширення вогню за межі приміщення, де виникла пожежа, є застосування повітроводів, які використовують в припливно-витяжних системах вентиляції,

вогнестійкість яких відповідає нормованим значенням, які складають від 15 хв до 240 хв [4].

Для забезпечення нормованої вогнестійкості застосовують різні конструктивні рішення повітроводів, серед яких рішення, які полягають у використанні пасивних і реактивних вогнезахисних матеріалів [5–7]. Пасивні вогнезахисні матеріали (плити, штукатурки тощо) не змінюють свого

фізичного стану під час нагрівання і забезпечують вогнезахист конструкцій завдяки своїм теплофізичним властивостям. Такі матеріали здатні забезпечувати вогнестійкість сталевих повітроводів протягом проміжку часу вогневого впливу, який може досягати значення 240 хвилин, що відповідає найвищому нормованому класу вогнестійкості повітроводів [4]. Реактивні вогнезахисні матеріали в умовах теплового впливу під час пожежі змінюють свій фізичний стан, значно збільшуються в об'ємі завдяки спучуванню і в такий спосіб забезпечують вогнезахист завдяки теплоізолювальному ефекту і перебігу ендотермічних реакцій. Вогнестійкість сталевих повітроводів із застосуванням тільки реактивних вогнезахисних матеріалів зберігається протягом обмеженого проміжку часу вогневого впливу, який зазвичай не перевищує 30 хв.

Ефективне поєднання фізико-хімічних властивостей пасивних і реактивних вогнезахисних матеріалів обумовило застосування в будівельних конструкціях, зокрема в проходках інженерних комунікацій [8], комбінованої системи вогнезахисту, яка складається з пасивного вогнезахисного матеріалу і нанесеного реактивного вогнезахисного покриття. Така комбінована система вогнезахисту можливо може бути застосована і для сталевих повітроводів і забезпечувати їхню вогнестійкість протягом тривалого проміжку часу

вогневого впливу за товщини вогнезахисту, значення якої менше ніж для пасивної системи вогнезахисту.

Зважаючи на широке застосування в будівлях сталевих повітроводів і необхідність мінімізації їхніх масо-габаритних показників, актуальним слід вважати дослідження, спрямовані на подальший розвиток і впровадження систем вогнезахисту сталевих повітроводів, в яких застосовується комбінація пасивних і реактивних вогнезахисних матеріалів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Під час виникнення пожежі повітроводи можуть служити каналами поширення вогню по всій будівлі. Для запобігання цьому явищу їхня конструкція має бути такою, щоб забезпечити певний (нормований) клас вогнестійкості (табл. 1). Протягом проміжку часу вогневого впливу, який відповідає нормованому класу вогнестійкості, не повинно відбуватися поширення вогню в результаті проникнення значної кількості гарячих газів та полум'я на сторону огорожувальної конструкції (стіну, перекриття), через яку проходить повітровід, що протилежна дії вогню, і (або) через значну теплопередачу, таким чином спричиняючи загоряння на поверхні, що не обігрівается, або інших матеріалів, які знаходяться біля цієї поверхні.

Таблиця 1 – Класи вогнестійкості повітроводів [4]

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

Оцінювання вогнестійкості повітроводів проводять шляхом випробування за методом, наведеним в європейському стандарті EN 1366-1 [9] або національних стандартах, зокрема, в ДСТУ Б В.1.1-16 [10].

Сутність цього випробування полягає у визначенні проміжку часу від початку вогневого випробування за

певним температурним режимом до настання одного з нормованих для повітроводів граничних станів з вогнестійкості в умовах, що регламентуються стандартом.

Вогнестійкість повітроводу зазвичай оцінюють за стандартним температурним режимом. У деяких випадках застосовують інші температурні режими, наведені в

EN 1363-2 [11]. Зокрема, температурний режим пожежі, яка повільно розвивається, використовують у разі, якщо очікується, що характеристики вогнестійкості повітроводу можуть бути меншими при низької інтенсивності теплового впливу на початковій стадії розвитку пожежі.

Під час випробування зразок повітроводу встановлюють у вогневу піч. Довжина частини зразка, яка знаходиться всередині печі, становить для горизонтальних повітроводів не менше ніж 4000 мм, для вертикальних – не менше ніж 2000 мм. Довжина частини зразка, яка знаходиться ззовні печі, становить для горизонтальних повітроводів не менше ніж 2500 мм, для вертикальних – не менше ніж 2000 мм.

Повітроводи з асиметричною конструкцією можуть мати різні характеристики вогнестійкості залежно від сторони, яка підлягає вогневному впливу. У цих випадках класифікація з вогнестійкості базується на результатах випробування повітроводу з вогневим впливом зі сторони, за якою отримано меншу вогнестійкість. Тому зазвичай проводять випробування із забезпеченням вогневого впливу з обох сторін. Повітровід з асиметричною конструкцією, випробуваний тільки з однієї сторони, класифікують з вогнестійкості для використання за умови вогневого впливу тільки з цієї сторони.

Випробуванню піддають два однакових зразки повітроводу за умови створення в них надмірного тиску та розрідження 300 Па. Якщо повітровід призначено для роботи тільки в умовах надмірного тиску або розрідження, або коли відомий режим тиску (надмірний або розрідження), за яким повітровід має меншу вогнестійкість, то дозволяється проведення випробування на одному зразку.

Під час випробування цілісність оцінюють за досягненням таких ознак:

- виникнення тріщин або отворів, які перевищують певні розміри;
- загоряння ватного тампону;

виникнення стійкого полум'я на стороні, протилежній вогневій дії;

виникнення витоку, що перевищує $15 \text{ м}^3/(\text{м}^2 \times \text{год})$.

Класифікацію з вогнестійкості за ознакою втрати цілісності проводять залежно від того, чи має бути повітровід класифікований також і за ознакою втрати теплоізолювальної здатності. Якщо він має бути класифікований за ознаками втрати цілісності Е та теплоізолювальної здатності І, то час досягнення ознаки втрати цілісності визначають по досягненню тієї з чотирьох ознак, яка буде досягнута першою. У разі, якщо повітровід класифікують тільки за ознакою втрати цілісності Е, ознаку за загорянням ватного тампону не беруть до уваги.

Теплоізолювальну здатність повітроводу під час випробування оцінюють, виходячи з наступного: середнє значення підвищення температури на необігрівній поверхні не повинно перевищувати 140°C над початковою середньою температурою, максимальне підвищення температури в будь-якій точці необігрівної поверхні над початковою середньою температурою не повинно перевищувати 180°C .

За зазначеним методом випробування проведено оцінювання властивостей низки систем вогнезахисту для сталевих повітроводів, в яких застосовують пасивні та реактивні вогнезахисні матеріали [12, 13]. Результати цього оцінювання показують, що застосування пасивних матеріалів забезпечує збереженість вогнестійкості сталевих повітроводів протягом проміжку часу вогневого впливу 240 хв при товщині облицювання 40 мм [12]. Вогнестійкість сталевих повітроводів із застосуванням вогнезахисного покриття тільки з реактивного матеріалу зберігається протягом 30 хв при товщині покриття 1,7 мм [13].

Реактивні вогнезахисні покриття являють собою термореактивні матеріали, які складаються з чотирьох хімічних компонентів: джерела кислоти, джерела вуглецю, джерела азоту та спінювача [14]. Процес спучування, який відбувається під

час вогневого впливу, спричиняє утворення пазирів у покритті, його спінювання та збільшення в об'ємі до 100 разів відносно його початкової товщини [15]. Процес спучування реактивних вогнезахисних покриттів також може бути заснований на фізико-механічних властивостях термореактивного графіту. Спінений шар графітових вогнезахисних покриттів утворюється не за рахунок виділення пазирів газу в киплячому шарі, а завдяки утворенню пластинками графіту специфічної коксової структури. Структура, що формується, являє собою пористий шар з багатьох частин з високими теплоізоляційними властивостями [16,17]. Вона має зовнішній вигляд спіненої речовини та проявляє себе як тепловий бар'єр з низькою теплопровідністю [18, 19]. Через це вона знижує швидкість проникнення високої температури в сталеву конструкцію [20, 21]. Типове підвищення температури сталевих конструкцій, оснащених вогнезахисним покриттям, що спучується, характеризується трьома стадіями [22]. Серед них стадія значного зниження швидкості підвищення температури сталі під час формування спученого шару і стадія підвищення цієї швидкості завдяки високій температурі, втраті маси і зменшенню товщини спученого шару.

Слід відмітити, що результатів, наданих у вищенаведених роботах, недостатньо для обґрунтування можливості підвищення ефективності вогнезахисту сталевих повітроводів за рахунок нанесення реактивного покриття на поверхню пасивного матеріалу. Ці роботи в основному стосуються дослідження поведінки вогнезахисних реактивних матеріалів, нанесених на сталеву поверхню. Поведінка цих матеріалів при їхньому розташуванні на поверхні пасивного вогнезахисного матеріалу можливо буде іншою. Тому є підстави вважати, що невизначеність впливу параметрів вогнезахисту на вогнестійкість сталевих повітроводів, в яких застосовано комбіновану систему

вогнезахисту, обумовлює проведення досліджень у цьому напрямку.

Мета і завдання дослідження.

Проведені дослідження ставили за мету оцінку вогнестійкості сталевих повітроводів з комбінованою системою вогнезахисту в умовах вогневого впливу за стандартним температурним режимом згідно з ДСТУ Б В.1.1-4 [23].

Для досягнення цієї мети були поставлені такі завдання:

визначити конструктивні рішення зразків сталевих повітроводів із застосуванням комбінованої системи вогнезахисту;

визначити дані щодо теплового стану і цілісності зразків сталевих повітроводів визначених конструктивних рішень в умовах вогневого впливу за стандартним температурним режимом;

провести аналіз отриманих експериментальних даних і оцінити вогнестійкість сталевих повітроводів, в яких застосовано комбіновану систему вогнезахисту.

Виклад основного матеріалу.

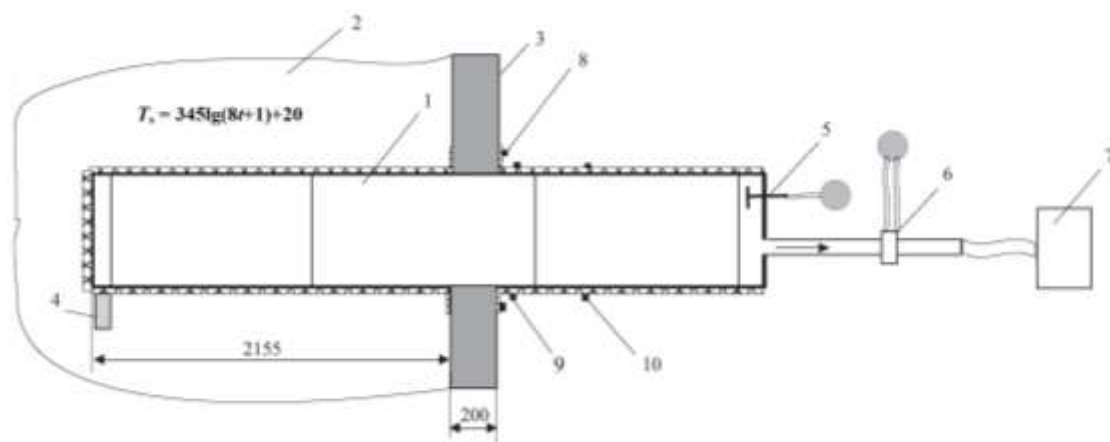
Дослідження проводили з використанням пасивного вогнезахисного матеріалу – склополотна «ИПС-Т-1000» із поверхневою густиною $1000 \pm 200 \text{ г/м}^2$ [24], і двох реактивних вогнезахисних матеріалів на основі термореактивного графіту: «Ендотерм ХТ-150» (на основі органічного розчинника) [25] та «Ендотерм 250103» (на водній основі) [26].

Застосовували два зразки сталевого повітроводу з прохідним перерізом діаметром 430 мм, що перетинали вертикальну огорожувальну конструкцію печі (рис. 1, позиція 3) з нідзрюватого бетону (густиною 500 кг/м^3) завтовшки 200 мм та облицьовані комбінованою системою вогнезахисту двох типів. У зразку №1 використано систему вогнезахисту, яка складається з склополотна «ИПС-Т-1000» і вогнезахисного матеріалу «Ендотерм ХТ-150», у зразку №2 – систему з склополотном «ИПС-Т-1000» і вогнезахисним матеріалом «Ендотерм

250103». Кожен зразок повітроводу виготовлено з трьох секцій (рис. 1, позиція 1), довжиною по 1250 мм кожна, і двох торцевих заглушок із сталевого оцинкованого листа завтовшки 0,9 мм. З'єднання секцій між собою та заглушок відносно секцій здійснено способом насунання. Такий спосіб з'єднання секцій відносно новий у практиці вогнезахисту повітроводів порівняно до фланцевих з'єднань. Застосування фланців дозволяє додатково знизити теплопровідність металевих повітроводів у поздовжньому напрямку за рахунок використання теплоізоляційних прокладок (мінеральний або азбестовий шнур тощо). Спосіб з'єднання насунанням не допускає застосування таких прокладок, що призводить до збільшення поздовжньої теплопровідності повітроводу порівняно до повітроводів з фланцевим з'єднанням. Проте при застосуванні способу насунання герметичність повітроводів більша ніж для

до повітроводів з фланцевим з'єднанням, що є важливим для зберігання їхньої цілісності протягом вогневого впливу. Загальна довжина зразка повітроводу складала 3680 мм, довжина повітроводу в печі – 2155 мм. Повітровід в печі спирався на одну нерухому опору (рис. 1, позиція 4).

У зразку №1 на зовнішню поверхню повітроводу наносили шар вогнезахисного матеріалу «Ендотерм ХТ-150», середньою товщиною у сухому стані 0,12 мм (витрата матеріалу складає 0,3 кг на 1 м² поверхні повітроводу, з урахуванням втрат). На цей шар наклеювали склополотно «ІПС-Т-1000», на зовнішню поверхню якого наносили шар вогнезахисного матеріалу «Ендотерм ХТ-150», середньою товщиною у сухому стані 0,50 мм (витрата матеріалу складає 1,3 кг на 1 м² поверхні склополотна, з урахуванням втрат). Середнє значення загальної товщини цієї системи вогнезахисту становить 5,0 мм.



1 – повітровід; 2 – піч; 3 – фрагмент огорожувальної конструкції; 4 – опора; 5 – пристрій контролю тиску; 6 – діафрагма з дифманометром; 7 – вентилятор з регулюючими елементами; 8 – термопари T1–T4; 9 – термопари T5–T8; 10 – термопари T9–T12

Рисунок 1 – Схема розташування зразка на печі

У зразку №2 на зовнішню поверхню повітроводу наносили шар вогнезахисного матеріалу «Ендотерм 250103», середньою товщиною у сухому стані 0,14 мм (витрата матеріалу складає 0,3 кг на 1 м² поверхні повітроводу, з урахуванням втрат). На цей шар наклеювали склополотно «ІПС-Т-1000», на зовнішню поверхню якого наносили шар вогнезахисного

матеріалу «Ендотерм 250103», середньою товщиною у сухому стані 0,41 мм (витрата матеріалу складає 1,2 кг на 1 м² поверхні склополотна, з урахуванням втрат). Середнє значення загальної товщини цієї системи вогнезахисту становить 5,0 мм.

Під час нанесення системи вогнезахисту нахлист склополотна у місцях стиків складав до 50 мм, а нахлист

матеріалів на огорожувальну конструкцію – до 50 мм. Нахлист закріплювали відносно огорожувальної конструкції сталеву стрічкою (шириною 20 мм і товщиною 0,5 мм) та саморізами кроком від 150 мм до 200 мм.

В експериментах, в яких визначали тепловий стан і цілісність зазначених зразків сталевих повітроводів в умовах вогневого впливу, застосовували вогневу піч для створення стандартного температурного режиму і засоби вимірювальної техніки, перелік яких наведено в ДСТУ Б В.1.1-16 [10].

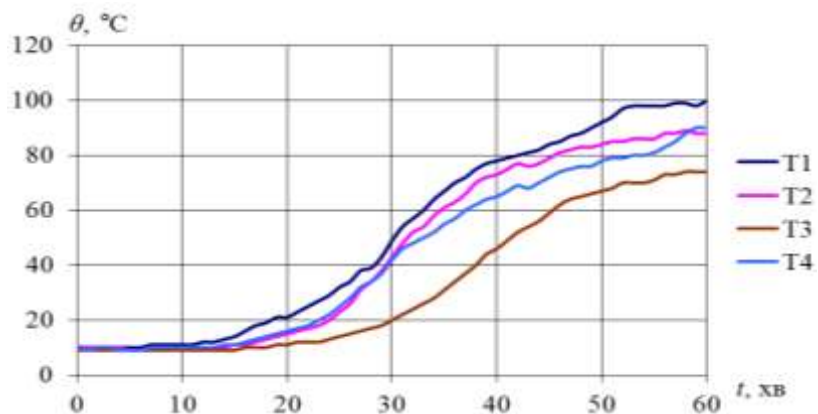
Методика дослідження теплового стану і цілісності сталевих повітроводів з комбінованою системою вогнезахисту в умовах вогневого впливу. Для дослідження теплового стану і цілісності сталевих повітроводів в умовах вогневого впливу застосовано методику, яка ґрунтується на положеннях ДСТУ Б В.1.1-16 [10].

Зразок сталевго повітроводу встановлювали у вертикальну огорожувальну конструкцію печі (рис. 1). Для визначення температури у місцях ущільнення зразка в огорожувальній конструкції встановлювали термопари Т1 – Т4 (рис. 1, позиція 8), які закріплювали на необігрівній поверхні огорожувальної конструкції на відстані 25 мм від поверхні повітроводу (зовнішньої поверхні системи вогнезахисту). Для визначення температури на необігрівній поверхні повітроводу біля ущільнення встановлювали термопари Т5 – Т8 (рис. 1, позиція 9), які закріплювали на відстані 25 мм від місця ущільнення зразка в огорожувальній конструкції. Для визначення температури на необігрівній поверхні повітроводу на відстані 300 мм від термопар Т5 – Т8 встановлювали термопари Т9 – Т12 (рис. 1, позиція 10).

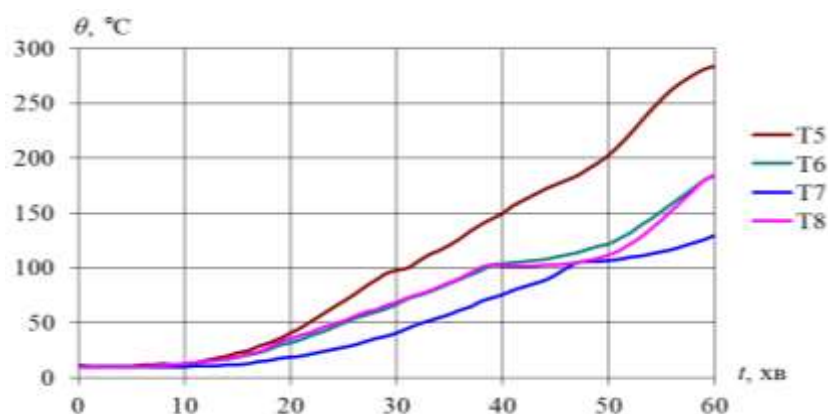
У печі створювали стандартний температурний режим згідно з ДСТУ Б В.1.1-4 [23], а витяжним

вентилятором (рис. 1, позиція 7) протягом вогневого впливу підтримували у повітроводі розрідження на рівні $300 \text{ Па} \pm 15 \text{ Па}$ відносно тиску зовні печі. Проводили вимірювання температури на необігрівній поверхні зразка, а також спостерігали за його поведінкою (появою тріщин, отворів, полум'я на необігрівному боці зразка). Після досягнення будь-якої ознаки втрати цілісності або теплоізолювальної здатності пальники печі вимикали. За отриманими експериментальними даними оцінювали цілісність і теплоізолювальну здатність сталевго повітроводу в урахуванням положень, наведених в ДСТУ Б В.1.1-16 [10].

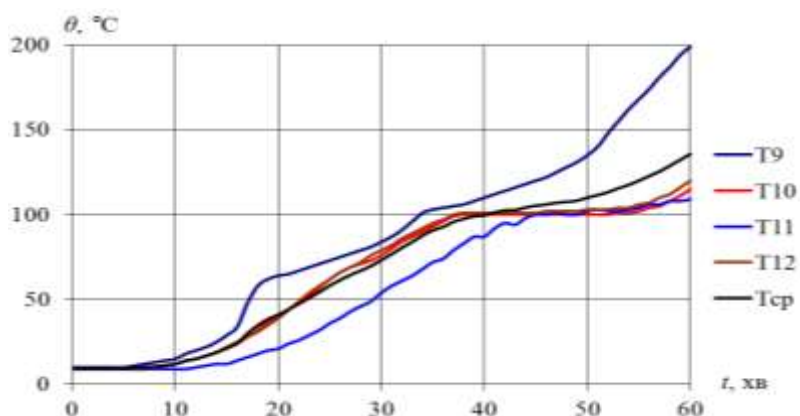
Результати дослідження теплового стану і цілісності сталевих повітроводів з комбінованою системою вогнезахисту в умовах вогневого впливу. Графіки вимірних значень температури на необігрівній поверхні зразків №1 і №2 сталевих повітроводів з комбінованою системою вогнезахисту показано на рис. 2 і 3, відповідно. З аналізу отриманих експериментальних даних випливає, що для всіх зразків залежності їхньої температури від тривалості вогневого впливу за стандартним температурним режимом мають монотонно зростаючий характер. Найменші значення, що не перевищують 100°C , температура має на необігрівній поверхні огорожувальної конструкції (рис. 2, 3, а), найбільші – на необігрівній поверхні повітроводу біля місця ущільнення зразка в огорожувальній конструкції (рис. 2, 3, б). Значення температури на необігрівній поверхні повітроводу на відстані 325 мм від огорожувальної конструкції (рис. 2, 3, в) на декілька десятків градусів нижчі ніж температури на необігрівній поверхні повітроводу на відстані 25 мм від неї (рис. 2, 3, б). Стосовно розподілу температури за периметром повітроводу, то найбільші температури мають місце за показами



а)



б)



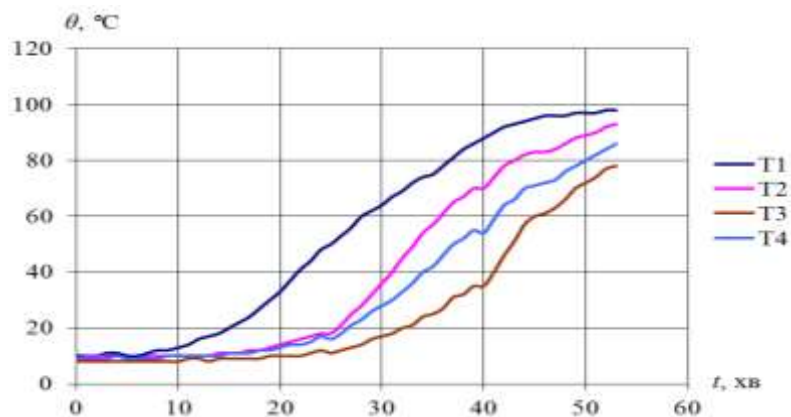
в)

Рисунок 2 – Залежності температури на необігрівній поверхні зразка №1 від тривалості вогневого впливу:

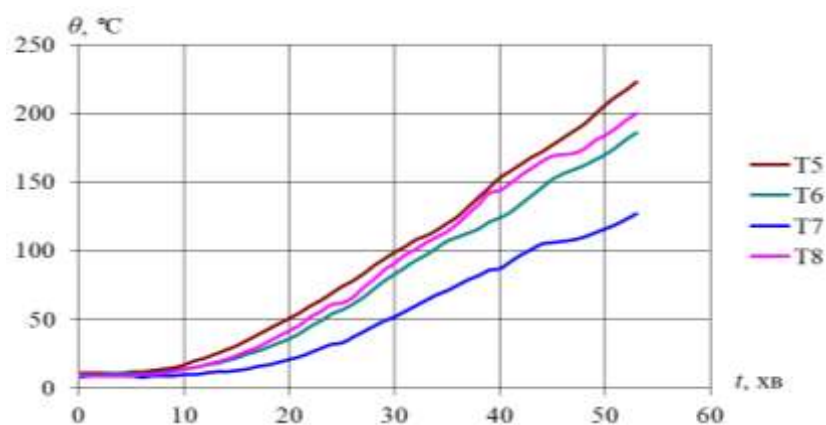
а – за показами термопар T1 – T4;

б – за показами термопар T5 – T8;

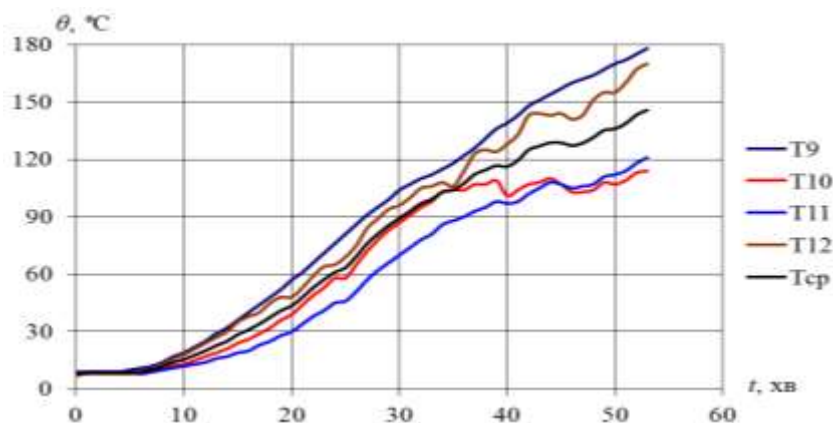
в – за показами термопар T9 – T12



а)



б)



в)

Рисунок 3 – Залежності температури на необігрівній поверхні зразка №2 від тривалості вогневого впливу:

а – за показами термопар T1 – T4;

б – за показами термопар T5 – T8;

в – за показами термопар T9 – T12

термопар T5, T9, які розташовано зверху на необігрівній поверхні повітроводу, найменші – за показами термопар T7, T11, які розташовано знизу на необігрівній поверхні повітроводу.

За результатами порівняння

експериментальних даних, отриманих для зразків №1 і №2, впливає, що їхні теплові стани і цілісність в умовах вогневого впливу за стандартним температурним режимом однакові. Втрата теплоізолювальної здатності зразків №1 і

№2 відбулася відповідно на 49 хв і 48 хв вогневого впливу (перевищення температури в місці встановлення термопар Т5 (зверху на повітроводі) над початковою середньою температурою становить більше ніж 180 °С). Втрати цілісності зразків №1 і №2 протягом вогневого впливу не відбулося. Клас вогнестійкості досліджених сталевих повітроводів з комбінованою системою вогнезахисту в умовах вогневого впливу за стандартним температурним режимом становить EI 45.

Обговорення результатів дослідження теплового стану і цілісності сталевих повітроводів з комбінованою системою вогнезахисту в умовах вогневого впливу. Як впливає з отриманих результатів, температура на необігрівій поверхні зразків має найбільші значення біля місця ущільнення повітроводу в огорожувальній конструкції на відстані 25 мм від неї (рис. 2, 3, б, криві Т5, Т9). Це обумовлено значною інтенсивністю теплопередачі від поверхні зразків, яка піддається вогневному впливу з боку печі, до їхньої необігрівій поверхні теплопровідністю по стінкам сталевому повітроводу. Закономірним є зниження температури необігрівій поверхні повітроводу зі збільшенням відстані від огорожувальної конструкції. Це пов'язано з конвекційним тепловідводом від необігрівій поверхні повітроводу. Ідентичність характеристик вогнестійкості щодо теплоізолювальної здатності зразків №1 і №2 можна пояснити відсутністю різниці у вогнезахисній здатності реактивних вогнезахисних матеріалів, які застосовували в цих зразках. Відсутність втрати цілісності зразків №1 і №2 протягом вогневого впливу обумовлено застосуванням способу з'єднання секцій повітроводу між собою, який забезпечує його герметичність.

Незначний проміжок часу до досягнення втрати теплоізолювальної здатності, який було отримано для зразків, можна пояснити відносно малою товщиною комбінованої системи вогнезахисту, середнє значення якої

становило 5,0 мм. У цій системі товщина реактивного вогнезахисного покриття складала 0,6 мм для зразка №1 і 0,5 мм для зразка №2, а товщина шару пасивного вогнезахисного матеріалу – біля 4,5 мм. В умовах вогневого впливу в діапазоні температури матеріалу від 200°C до 350°C реактивне вогнезахисне покриття зазнає повного спучування з утворенням товстого шару з низькою густиною і звугленим вогнезахисним шаром, що має низьку теплопровідність [22]. При підвищенні температури матеріалу більше за 350 °С теплопровідність покриття збільшується завдяки високій температурі, втраті маси і зменшенню товщини. При цьому має місце значне підвищення швидкості зростання температури сталевій поверхні у порівнянні з попередньою стадією. Із аналізу результатів дослідження теплового стану сталевих конструкцій з комбінованою системою вогнезахисту, наведених в [27], впливає, що при товщині сталевій стінки 0,9 мм стадія спучування реактивного вогнезахисного покриття завершається на 15 хв вогневого впливу за стандартним температурним режимом. У подальшому температура цієї сталевій стінки інтенсивно зростає і досягає значних величин, наприклад, 600 °С на 26 хв. Це призводить до значного підвищення інтенсивності теплопередачі до необігрівій поверхні зразків теплопровідністю по стінкам сталевому повітроводу.

Із отриманих результатів дослідження впливає, що конструктивні рішення сталевих повітроводів із застосуванням систем вогнезахисту, в яких використовують пасивний вогнезахисний матеріал (склополотно «ИПС-Т-1000») і реактивні вогнезахисні матеріали («Ендотерм ХТ-150» та «Ендотерм 250103»), відповідають класу вогнестійкості EI 45. 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 повітропроводам через огорожувальні

конструкції. Однак неможливо не відмітити, що результати проведеного дослідження отримані для систем вогнезахисту, до складу яких входять пасивний і реактивний вогнезахисні матеріали тільки трьох торгових марок, і вони мають певну невизначеність. Це проявляється, в першу чергу, в тому, що при дослідженні було застосовано сталевий повітровід і вертикальну опорну конструкцію печі тільки одного типорозміру. При використанні іншого сталевих трубопроводу або опорної конструкції, що побудована з іншого матеріалу і (або) має ширину меншу ніж 200 мм, не виключена можливість отримання результатів щодо вогнестійкості сталевих повітроводів зазначених конструктивних рішень, які будуть відрізнятися від отриманих у даному дослідженні. Крім цього проміжок часу до досягнення втрати теплоізолювальної здатності, який було отримано для зразків, що складає 48 хв, є значно меншим ніж тривалість вогневого впливу для найвищого нормованого класу вогнестійкості повітроводів EI 240 [4]. Не було досліджено вплив товщини шарів комбінованої системи вогнезахисту на тепловий стан сталевих повітроводів в умовах вогневого впливу.

Така невизначеність накладає певні обмеження на використання отриманих результатів, що може трактуватися, як недоліки даного дослідження. Неможливість зняти названі обмеження в рамках даного дослідження породжує потенційно цікавий напрям подальших досліджень. Вони, зокрема, можуть бути орієнтовані на виявлення залежностей між проміжком часу до досягнення втрати теплоізолювальної здатності і товщиною шарів комбінованої системи вогнезахисту для сталевих повітроводів. Таке виявлення дозволить визначити оптимальні

параметри комбінованої системи вогнезахисту для сталевих повітроводів, прийнятні для забезпечення їхньої вогнестійкості для широкого діапазону тривалості вогневого впливу за стандартним температурним режимом.

Висновки та напрями подальших досліджень. Під час проведеного дослідження визначено дані щодо теплового стану і цілісності в умовах вогневого впливу за стандартним температурним режимом сталевих повітроводів, в конструкції яких застосовано дві системи вогнезахисту, в яких використовують пасивний вогнезахисний матеріал (склополотно «ИПС-Т-1000») і реактивні вогнезахисні матеріали («Ендотерм ХТ-150» та «Ендотерм 250103»). Встановлено особливості розподілу температури на необігрівній поверхні повітроводів в умовах вогневого впливу. Показано, що найбільші значення температура має на необігрівній поверхні повітроводу біля місця його ущільнення у вертикальній огорожувальній конструкції. Встановлено проміжок часу до досягнення втрати теплоізолювальної здатності повітроводів і клас їхньої вогнестійкості, який становить EI 45.

Визначено напрям подальших досліджень, які орієнтовані на виявлення залежностей між проміжком часу до досягнення втрати теплоізолювальної здатності і товщиною шарів комбінованої системи вогнезахисту для сталевих повітроводів, що дозволять встановити оптимальні параметри комбінованої системи вогнезахисту для сталевих повітроводів, прийнятні для забезпечення їхньої вогнестійкості для широкого діапазону тривалості вогневого впливу за стандартним температурним режимом.

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. Р. 5–43.
2. Технічний регламент будівельних виробів, будівель і споруд. *Офіційний вісник України* 2006. № 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. Київ: Мінрегіонбуд України, 2008. 29 с.
4. ДСТУ EN 13501-3:2016. Пожежна класифікація будівельних виробів і будівельних конструкцій. Частина 3. Класифікація за результатами випробувань на вогнестійкість виробів та конструкцій, які використовують в інженерних системах будівель. Вогнестійкі повітроводи та протипожежні клапани (EN 13501-3:2005 + A1:2009, IDT). Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 21 с.
5. EAD 350402-00-1106. Reactive coatings for fire protection of steel elements (Реактивні вогнезахисні покриття для захисту сталевих конструкцій). URL: <https://www.eota.eu/handlers/download.ashx?filename=ead-in-ojeu%2Fead-350402-00-1106-ojeu2017.pdf> (дата звернення 20.10.2020).
6. EAD 350140-00-1106. Renderings and rendering kits intended for fire resistant applications (Штукатурка і комплекти, до складу яких вона входить, для забезпечення вогнезахисту). URL: <https://www.eota.eu/handlers/download.ashx?filename=ead-in-ojeu%2Fead-350140-00-1106-ojeu2017.pdf>
7. EAD 350142-00-1106. Fire protective board, slab and mat products and kits (Вогнезахисні панелі, плити і мати та комплекти, до складу яких вони входять). URL: <https://www.eota.eu/handlers/download.ashx?filename=ead-in-ojeu%2Fead-350142-00-1106-ojeu2017.pdf> (дата звернення 20.10.2020).
8. EAD 350454-00-1104. Fire stopping and fire sealing products. Penetration seals. (Матеріали та вироби для перешкоджання проникненню вогню і вогнезахисного заповнення. Проходки інженерних комунікацій). URL: <https://www.eota.eu/handlers/download.ashx?filename=ead-in-ojeu%2Fead-350454-00-1104-ojeu2017.pdf> (дата звернення 20.10.2020).
9. EN 1366-1:2014. Fire resistance tests for service installations – Part 1: Ventilation ducts (Випробування на вогнестійкість інженерних систем – Частина 1: Вентиляційні повітроводи). EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. CEN-CENELEC Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels. 2014 CEN. 54 p.
10. ДСТУ Б В.1.1-16:2007. Захист від пожежі. Повітроводи. Метод випробування на вогнестійкість. Київ: Мінрегіонбуд України, 2007. 10 с.
11. EN 1363-2:1999. Fire resistance tests – Part 2: Alternative and additional procedures (Випробування на вогнестійкість. Частина 2. Альтернативні і додаткові процедури). EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Central Secretariat: rue de Stassart, 36, B-1050 Brussels. 1999 CEN. 20 p.
12. Калафат К., Вахитова Л. Каталог средств огнезащиты стальных конструкций 2017. Метінвест, 2017. URL : http://www.uscc.ua/files/30/ognezashchita_catalog_2017.pdf (20.10.2020).
13. Огнезащита воздуховодов. АВОК : вебсайт. URL : <http://croz.ru/katalog/ognezashchita-vozdukhovodov> (дата звернення 20.10.2020).
14. Vandersall H. L. Intumescent Coating Systems, Their Development and Chemistry. *Journal of Fire and Flammability*, April 1971. Vol. 2, Pp. 97-140.
15. Horacek H. and Pieh S. The importance of intumescent systems for fire protection of plastic materials. *Polymer International*. 2000. vol. 49, Pp. 1106-1114.
16. Gillet M., Autrique L. and Perez L. Mathematical model for intumescent coatings growth: application to fire retardant systems 124 evaluation. *Journal of Physics*. Institute of Physics Publishing, 2007, № 40. D : Applied Physics, Pp. 883-899.
17. Donatellade Silva, Antonio Bilotta, Emidio Nigro Experimental investigation on steel elements protected with intumescent coating. *Construction and Building Materials*. 2019. Pp. 232–244. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.01.223> (дата звернення 20.10.2020).
18. Andersen J., Experimental study of the thermal resistance of intumescent coatings exposed to different heating rates. *Master of Science thesis*. Civil Engineering Department. Technical University of Denmark.

- Copenhagen, Denmark, 2015.
19. Li G.Q., Lou G.B., Zhang C., Wang L. and Wang Y. Assess the fire resistance of intumescent coatings by equivalent constant thermal resistance. *Fire Technology*, 2012. vol. 48, Pp. 529-546.
 20. Wang L., Dong Y., Zhang D., Zhang D. and Zhang C. Experimental study of heat transfer in intumescent coatings exposed to non-standard furnace curves. *Fire Technology*. 2015. vol. 51, no.1, Pp. 627- 643.
 21. Zhang Y., Wang Y., Bailey C.G. and Taylor A.P. Global modelling of fire protection performances of an intumescent coating under different furnace fire conditions. *Journal of Fire Science*, 2012. vol. 31, no.1, Pp. 51-72,
 22. Qian-Yi Song, Lin-Hai Han 1, Kan Zhou1 and Yuan Feng. Temperature distribution of CFST columns protected by intumescent fire coating. *Ninth International Conference on Advances in Steel Structures (ICASS'2018)* (5-7 December 2018). Hong Kong, China. 2018. P. 1437–1448. doi: [https://doi: 10.18057/icass2018.p.164](https://doi.org/10.18057/icass2018.p.164).
 23. ДСТУ Б В.1.1-4-98*. Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги. Київ: Держбуд України, 2005. 19 с.
 24. ТУ 6-48-135-97 Полотна иглопрошивные стеклянные. Технические условия. [Чинний від 25.01.97 г.]. URL : <https://meganorm.ru/Data2/1/4294849/4294849156.htm> (дата звернення 20.10.2020).
 25. ТУ У 24.3-13481691-007-2003 Суміш та покриття вогнезахисні спучені «Ендотерм ХТ-150». Технічні умови. Технічні умови. Донецький центр стандартизації, метрології та сертифікації. 2001. 23 с.
 26. ТУ У 13481691.005-2001 Суміші для вогнезахисних покриттів «Ендотерм 400201», «Ендотерм 400202», «Ендотерм 650202», «Ендотерм 250103». Технічні умови. Донецький центр стандартизації, метрології та сертифікації. 2001. 24 с.
 27. Novak S., Drizhd V., Dobrostan O. Thermal state of steel structures with a combined fire protection system under conditions of fire exposure. *Східно-Європейський журнал передових технологій* 2020. № 3/10 (105). С. 17–25.

REFERENCES

1. Regulation (EU) № 305/2011 of the European Parliament and of the Council of 9 March 2011 laying down harmonized conditions for the marketing of construction products and repealing Council Directive 89/106/EEC. OJ L 88, 4.4.2011. P. 5–43.
2. Tekhnichniy rehlyament budivelnnykh vyrobiv, budivel i sporud. Ofitsiyniy visnyk Ukrainy 2006. № 51, st. 3415 [In Ukrainian].
3. DBN V.1.2-7-2008. Systema zabezpechennia nadiinosti ta bezpeky budivelnnykh ob'ektiv. Osnovni vymohy do budivel i sporud. Pozhezhna bezpeka. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy, 2008. 29 s. [In Ukrainian].
4. DSTU EN 13501-3:2016. Pozhezhna klasyfikatsiia budivelnnykh vyrobiv i budivelnnykh konstruksii. Chastyna 3. Klasyfikatsiia za rezultaty vyprobuvan na vohnestiikist vyrobiv ta konstruksii, yaki vykorystovuiut v inzhenernykh systemakh budivel. Vohnestiiki povitrovody ta protypozhezhni klapani (EN 13501-3:2005 + A1:2009, IDT). Kyiv: DP «UkrNDNTs», 2016. 21 s. [In Ukrainian].
5. EAD 350402-00-1106. Reactive coatings for fire protection of steel elements (URL: <https://www.eota.eu/handlers/download.ashx?filename=ead-in-ojeu%2Fead-350402-00-1106-ojeu2017.pdf> (дата звернення 20.10.2020)).
6. EAD 350140-00-1106. Renderings and rendering kits intended for fire resistant applications. URL: <https://www.eota.eu/handlers/download.ashx?filename=ead-in-ojeu%2Fead-350140-00-1106-ojeu2017.pdf>
7. EAD 350142-00-1106. Fire protective board, slab and mat products and kits (Вогнезахисні панелі, плити і мати та комплекти, до складу яких вони входять). URL: <https://www.eota.eu/handlers/download.ashx?filename=ead-in-ojeu%2Fead-350142-00-1106-ojeu2017.pdf> (дата звернення 20.10.2020)).
8. EAD 350454-00-1104. Fire stopping and fire sealing products. Penetration seals. URL: <https://www.eota.eu/handlers/download.ashx?filename=ead-in-ojeu%2Fead-350454-00-1104-ojeu2017.pdf> (дата звернення 20.10.2020)).
9. EN 1366-1:2014. Fire resistance tests for service installations – Part 1: Ventilation ducts EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. CEN-CENELEC Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brussels. 2014 CEN. 54 p.

10. DSTU B V.1.1-16:2007. Zakhyst vid pozhezhi. Povitrovody. Metod vyprobuвання na vohnestiikist. Kyiv: Minrehionbud Ukrainy, 2007. 10 s. [In Ukrainian].
11. EN 1363-2:1999. Fire resistance tests – Part 2: Alternative and additional procedures EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. Central Secretariat: rue de Stassart, 36, B-1050 Brussels. 1999 CEN. 20 p.
12. Kalafat K., Vakhytova L. Katalog sredstv ohnezashchity stalnykh konstruktsyi 2017. Metinvest, 2017. URL : http://www.uscc.ua/files/30/ognezashchita_catalog_2017.pdf (20.10.2020) [In Russian].
13. Ohnezashchita vozdukhovodov. AVOK : vebсайт. URL : <http://croz.ru/katalog/ognezashchita-vozdukhovodov> (data zvernennia 20.10.2020) [In Russian].
14. Vandersall H. L. Intumescent Coating Systems, Their Development and Chemistry. *Journal of Fire and Flammability*, April 1971. Vol. 2, Pp. 97-140.
15. Horacek H. and Pieh S. The importance of intumescent systems for fire protection of plastic materials. *Polymer International*. 2000. vol. 49, Pp. 1106-1114.
16. Gillet M., Autrique L. and Perez L. Mathematical model for intumescent coatings growth: application to fire retardant systems 124 evaluation. *Journal of Physics*. Institute of Physics Publishing, 2007, № 40. D : Applied Physics, Pp. 883-899.
17. Donatellade Silva, Antonio Bilotta, Emidio Nigro Experimental investigation on steel elements protected with intumescent coating. *Construction and Building Materials*. 2019. Pp. 232–244. doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.01.223> (дата звернення 20.10.2020).
18. Andersen J., Experimental study of the thermal resistance of intumescent coatings exposed to different heating rates. *Master of Science thesis*. Civil Engineering Department. Technical University of Denmark. Copenhagen, Denmark, 2015.
19. Li G.Q., Lou G.B., Zhang C., Wang L. and Wang Y. Assess the fire resistance of intumescent coatings by equivalent constant thermal resistance. *Fire Technology*, 2012. vol. 48, Pp. 529-546.
20. Wang L., Dong Y., Zhang D., Zhang D. and Zhang C. Experimental study of heat transfer in intumescent coatings exposed to non-standard furnace curves. *Fire Technology*. 2015. vol. 51, no.1, Pp. 627- 643.
21. Zhang Y., Wang Y., Bailey C.G. and Taylor A.P. Global modelling of fire protection performances of an intumescent coating under different furnace fire conditions. *Journal of Fire Science*, 2012. vol. 31, no.1, Pp. 51-72,
22. Qian-Yi Song, Lin-Hai Han 1, Kan Zhou1 and Yuan Feng. Temperature distribution of CFST columns protected by intumescent fire coating. *Ninth International Conference on Advances in Steel Structures (ICASS'2018)* (5-7 December 2018). Hong Kong, China. 2018. P. 1437–1448. doi: <https://doi.org/10.18057/icass2018.p.164>.
23. DSTU B V.1.1-4-98*. Zakhyst vid pozhezhi. Budivelni konstruktsii. Metody vyprobuvan na vohnestiikist. Zahalni vymohy. Kyiv: Derzhbud Ukrainy, 2005. 19 s. [In Ukrainian].
24. TU 6-48-135-97 Polotna yhloproshyvne steklianne. Tekhnicheskyye usloviya. [Chynnyi vid 25.01.97 h.]. URL : <https://meganorm.ru/Data2/1/4294849/4294849156.htm> (data zvernennia 20.10.2020) [In Russian].
25. TU U 24.3-13481691-007-2003 Sumish ta pokryttia vohnezakhysni spucheni «Endoterm KhT-150». Tekhnichni umovy. Tekhnichni umovy. Donetskyi tsentr standartyzatsii, metrolohii ta sertyfikatsii. 2001. 23 s.
26. TU U 13481691.005-2001 Sumishi dlia vohnezakhysnykh pokryttiv «Endoterm 400201», «Endoterm 400202», «Endoterm 650202», «Endoterm 250103». Tekhnichni umovy. Donetskyi tsentr standartyzatsii, metrolohii ta sertyfikatsii. 2001. 24 s. [In Ukrainian].
27. Novak S., Drizhd V., Dobrostan O. Thermal state of steel structures with a combined fire protection system under conditions of fire exposure. *Східно-Європейський журнал передових технологій*. 2020. № 3/10 (105). С. 17–25.

FIRE RESISTANCE OF STEEL AIR DUCTS WITH COMBINED FIRE PROTECTION SYSTEM

*S. Novak, Cand. Sc. (Eng.) SRF; V. Dobrostan, Cand. Sc. (Eng.)
Institute of Public Administration and Research on Civil Defense, Ukraine
V. Drizhd, Cand. Sc. (Eng.)
Scientific and production enterprise "Special materials", Ukraine*

KEYWORDS

air duct, fire impact, fire protection, fire protection system, fire resistance, integrity, reactive fire protection material, passive fire protection material, thermal insulation ability

ANNOTATION

The results of research of fire resistance of steel air ducts with the combined system of fire protection in the conditions of fire influence according to the standard temperature regime according to DSTU B V.1.1-4 are resulted. Steel air ducts were investigated, in the design of which two fire protection systems were used, in which passive fire protection material material (fiberglass "IPS-T-1000") and reactive fire protection material materials ("Endotherm HT-150" and "Endotherm 250103") were used. The research method is applied, which is based on the provisions of DSTU B V.1.1-16. The essence of this technique is that the samples of steel ducts are installed in the vertical support structure of the furnace and exposed to fire. According to the obtained experimental data, the integrity and thermal insulation capacity of air ducts are evaluated. According to the results of the research, the peculiarities of temperature distribution on the unheated surface of air ducts in the conditions of fire influence and characteristics of fire resistance of steel air ducts with the combined fire protection system are determined. It is shown that the temperature is most important on the unheated surface of the duct near the place of its compaction in the vertical enclosing structure. The temperature on the surface of the duct at a distance of 325 mm from the enclosing structure is several tens of degrees lower than the temperature on the surface of the duct at a distance of 25 mm from it. The period of time to achieve the loss of thermal insulation capacity of air ducts and the class of their fire resistance, which is EI 45. The direction of further researches which are focused on revealing of dependences between a time interval before achievement of loss of thermal insulation capacity and thickness of layers of the combined system of fire protection for steel air ducts is defined. This detection will determine the optimal parameters of the combined fire protection system for steel air ducts, acceptable to ensure their fire resistance for a wide range of duration of fire exposure at a standard temperature.

УДК 614.841.34

Олег Пазен, канд. техн. наук,

ORCID iD [0000-0003-1655-3825](https://orcid.org/0000-0003-1655-3825)

Роман Тацій, д-р фіз.-мат. наук, проф.,

ORCID iD [0000-0001-7764-2528](https://orcid.org/0000-0001-7764-2528)

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, м. Львів, Україна,

E-mail: opazen@gmail.com

МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ТЕПЛООБМІНУ В БАГАТОШАРОВОМУ СУЦІЛЬНОМУ ЦИЛІНДРІ З УРАХУВАННЯМ ВНУТРІШНІХ ДЖЕРЕЛ ТЕПЛА

<https://doi.org/10.33269/nvcz.2020.1.66-75>

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 12.09.2020

Пройшла рецензування: 24.09.2020

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

суцільний циліндр,
квазіпохідна, прямий
метод, граничний перехід.

АНОТАЦІЯ

Стаття присвячена застосуванню прямого методу до дослідження процесів теплообміну в системі «суцільний циліндр всередині багатошарової циліндричної оболонки». Для розв'язування вихідної задачі ставиться допоміжна задача з «вилученням» циліндром достатньо малого радіуса. Розв'язок побудований на основі методу редукції, концепції квазіпохідних, схеми Фур'є із застосуванням модифікованого методу власних функцій. Розв'язок вихідної задачі отримано шляхом прямування радіуса вилученого циліндра до нуля.

Усередині тіл можуть відбуватись різноманітні процеси, що супроводжуються виділенням або поглинанням тепла. Такі явища відбуваються при проходженні електричного струму через електронні елементи або провідники, у тепловиділяючих елементах ядерних реакторів, протіканні хімічних реакцій, випаровуванні вологи при нагріванні бетонних або залізобетонних конструкцій, тощо. Таке виділення або поглинання тепла у тілі може суттєво впливати на процес теплопровідності в ньому.

З точки зору пожежної безпеки задачі про дослідження теплообміну в багатошарових суцільних циліндричних конструкціях є невід'ємною складовою під час визначення межі вогнестійкості конструкцій. До них відносяться колони круглого поперечного перерізу, трубобетонні колони та конструкції, які мають круглий суцільний переріз. Тому дослідження процесів теплообміну в багатошарових суцільних циліндричних конструкціях з урахуванням внутрішніх джерел тепла є актуальною науково-технічною задачею.

Аналіз літературних джерел.

Ймовірно, що перша і найпростіша постановка задачі на охолодження системи вкладених тіл «циліндр всередині циліндричної оболонки» (без урахування внутрішнього джерела тепла) була поставлена і розв'язана операційним методом в монографії [1]. На жаль, алгоритмів розв'язування цієї задачі, в цитованій монографії, не наведено. Крім того, в задачі про охолодження системи «суцільний циліндр всередині циліндричної оболонки» припускається, що оболонка є настільки тонкою, що її в першому наближенні можна вважати плоскою. Це припущення суттєво спрощує розв'язок, але питання про величину отриманої при цьому похибки до цього часу залишається відкритим.

Загалом, методам дослідження задач теорії теплопровідності присвячені численні публікації. Ці методи умовно можна поділити на три види: а) прямі або класичні [2], [3], що базуються на методі відокремлення змінних; б) операційні [1], [4-5], що використовують різного роду інтегральні перетворення; в) наближені аналітичні та числові методи [6], [7]. Так,

у роботі [11] запропоновано метод розв'язування задачі теплопровідності для багат шарового порожнистого циліндра, проте без урахування внутрішніх джерел тепла. У [8] досліджується розподіл температурного поля в багат шаровій порожнистій циліндричній конструкції з включенням внутрішнього джерела тепла, методом інтегрального перетворення Лапласа. У публікаціях [9], [10] застосовується прямий метод до знаходження температурних полів у багат шарових порожнистих циліндричних та сферичних конструкціях.

Проблеми, які залишаються невирішеними. Теоретично, аналітичні методи повинні застосовуватися до багат шарових конструкцій. Однак на практиці кількість шарів, як правило, обмежується двома або трьома [11]. Це зумовлено тим, що при збільшенні кількості шарів значно зростають обчислень. Крім цього, у задачах «циліндр всередині багат шарової оболонки», існує проблема обмеження розв'язку в точці $r = 0$.

Мета і завдання дослідження. З огляду на проведений аналіз, метою даної роботи є застосування прямого методу до знаходження ефективного аналітичного розв'язку задачі теплопровідності у суцільних багат шарових циліндричних конструкціях з урахуванням внутрішніх джерел тепла.

Вихідна задача. Розглянемо суцільний необмежений циліндр радіусом $r = r_1$,

який в подальшому називатимемо ядром, всередині багат шарової циліндричної оболонки радіусами $r_1 < r_2 < \dots < r_{n-1} < r_n$. Між шарами існує ідеальний тепловий контакт, а у початковий момент часу $\tau = 0$, така циліндрична конструкція має однакову початкову температуру $T = T_0$, яка співпадає з температурою навколишнього середовища. На зовнішній поверхні конструкції відбувається конвективний теплообмін з навколишнім середовищем, температура якого змінюється за деяким законом $\psi(\tau)$, тобто виконується крайова умова третього роду. Крім цього, у ядрі та шарах конструкції передбачено наявність внутрішніх (розподілених) джерел тепла q_v . Вважатимемо, що температура середовища $\psi(\tau)$ рівномірно розподілена по поверхні циліндричної оболонки так, що ізотерми всередині цієї конструкції являють собою коаксіальні поверхні, а це значить, що температура $T(r, \tau)$ залежить лише від радіуса r та часу τ і задача є симетричною. Необхідно знайти розподіл нестационарного температурного поля $T(r, \tau)$ такої конструкції у будь-який момент часу τ .

Така постановка задачі зводиться до розв'язування диференціального рівняння теплопровідності з крайовою умовою третього роду, умовою симетрії та початковою умовою відповідно [0]

$$c\rho \frac{\partial T(r, \tau)}{\partial \tau} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r \lambda \frac{\partial T(r, \tau)}{\partial r} \right) + q_v, \quad r \in (0, r_n), \quad \tau > 0, \quad (1)$$

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial r}(r_n, \tau) = \alpha (T(r_n, \tau) - \psi(\tau)), \quad (2)$$

$$\frac{\partial T}{\partial r}(0, \tau) = 0, \quad (3)$$

$$T(r, 0) = T_0. \quad (4)$$

де, c – питома масова теплоємність, Дж/(кг·°C); r – координата, м; T – температура, °C; α – коефіцієнт теплообміну, Вт/(м²·°C); λ – коефіцієнт теплопровідності, Вт/(м·°C); ρ – густина, кг/м³; q_v – інтенсивність внутрішнього джерела тепла, Вт/м³; τ – час, с; $\psi(\tau)$ – закон зміни температури навколишнього середовища, °C.

Допоміжна задача. Для того, щоб розв'язати поставлену задачу (1)-(4) вилучимо з середини ядра циліндр радіусом $r = r_0$, причому $0 < r_0 < r_1$. Розглянемо тепер мішану задачу теплопровідності для багат шарової порожнистої циліндричної конструкції. Для того, щоб розрізнити функцію розподілу температурного поля $T(r, \tau)$ вихідної задачі від функції розподілу

допоміжної задачі, позначатимемо останню через $t(r, \tau)$.

Для знаходження розподілу нестационарного температурного поля у багат шаровій порожнистій циліндричній конструкції необхідно знайти розв'язок диференціального рівняння теплопровідності [9]

$$c\rho \frac{\partial t(r, \tau)}{\partial \tau} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r\lambda \frac{\partial t(r, \tau)}{\partial r} \right) + q_v, \quad r \in (r_0, r_n), \quad \tau > 0. \quad (5)$$

Умову симетрії (3) змінимо на нульову крайову умову другого роду, тоді

одержимо крайові умови для рівняння (5) разом з початковою умовою

$$\begin{cases} \frac{\partial t}{\partial r}(r_0, \tau) = 0, \\ -\lambda \frac{\partial t}{\partial r}(r_n, \tau) = \alpha(t(r_n, \tau) - \psi(\tau)), \end{cases} \quad (6)$$

$$t(r, 0) = T_0. \quad (7)$$

Зауважимо, що розв'язок вихідної задачі (1)-(4) буде отримано з розв'язку задачі (5)-(7) шляхом граничного переходу при $r_0 \rightarrow 0$.

Схема розв'язання допоміжної задачі. Позначимо, $t^{[1]} = r\lambda t'_r$ – квазіпохідна, θ_i – характеристична функція [0] напіввідкритого проміжку

$$[r_i, r_{i+1}), \quad \text{тобто} \quad \theta_i(r) = \begin{cases} 1, & r \in [r_i, r_{i+1}), \\ 0, & r \notin [r_i, r_{i+1}), \end{cases}$$

$$\lambda(r) = \sum_{i=0}^{n-1} \lambda_i \theta_i, \quad c(r) \rho(r) = \sum_{i=0}^{n-1} c_i \rho_i \theta_i,$$

$$q_v(r) = \sum_{i=0}^{n-1} q_{vi} \theta_i, \quad \lambda_i > 0, \quad c_i \rho_i > 0,$$

$$\forall i = 0, n-1, \quad \lambda_i, c_i, \rho_i, q_{vi} \in R.$$

Ввівши позначення квазіпохідної $t^{[1]} = r\lambda t'_r$, та помноживши крайові умови (6) на λr та r відповідно, отримаємо

$$\begin{cases} t^{[1]}(r_0, \tau) = 0, \\ \alpha r_n t(r_n, \tau) + t^{[1]}(r_n, \tau) = \alpha r_n \psi(\tau). \end{cases} \quad (8)$$

Аналогічно, як і в роботах [9,13], розв'язок задачі (5)-(7) шукатимемо за допомогою методу редукції [14,15]

$$t(r, \tau) = u(r, \tau) + v(r, \tau), \quad (9)$$

де одна з функцій ($u(r, \tau)$ або $v(r, \tau)$) вибирається спеціальним чином, а інша вже визначається однозначно.

Крайова задача для $u(r, \tau)$ та мішана задача для $v(r, \tau)$.

Як і вище, позначимо квазіпохідні $r\lambda u'_r = u^{[1]}$ та $r\lambda v'_r = v^{[1]}$. Визначимо функцію $u(r, \tau)$ як розв'язок крайової (квазістационарної) задачі з крайовими умовами

$$\frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r\lambda \frac{\partial u}{\partial r} \right) + q_v = 0, \quad (10)$$

$$\begin{cases} u^{[1]}(r_0) = 0, \\ \alpha r_n u(r_n, \tau) + u^{[1]}(r_n, \tau) = \alpha r_n \psi(\tau). \end{cases} \quad (11)$$

Підставляючи (9) у рівняння (5), з урахуванням (10), послідовно отримуємо мішану задачу для визначення функції $v(r, \tau)$

$$c\rho \frac{\partial}{\partial \tau}(u+v) = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r\lambda \frac{\partial}{\partial r}(u+v) \right) + q_v \Rightarrow c\rho \frac{\partial v}{\partial \tau} = \frac{1}{r} \frac{\partial}{\partial r} \left(r\lambda \frac{\partial v}{\partial r} \right) - c\rho \frac{\partial u}{\partial \tau}. \quad (12)$$

Оскільки крайові умови (11) для функції $u(r, \tau)$ справджують крайові умови (8) для функції $t(r, \tau)$, отримаємо нульові крайові умови для функції $v(r, \tau)$, та початкову умову

$$\begin{cases} v^{[1]}(r_0, \tau) = 0, \\ \alpha r_n v(r_n, \tau) + v^{[1]}(r_n, \tau) = 0, \end{cases} \quad (13)$$

$$v(r, 0) = T_0 - u(r, 0) \equiv T_0. \quad (14)$$

Схема побудови розв'язку задачі (10) (11) детально вивчено та описано у роботах [9,16]. Встановлено, що на кожному з проміжків $[r_i, r_{i+1})$ розв'язок задачі (10), (11) зображується як вектор-функція $\mathbf{u}_i(r, \tau)$, де першою координатою є шукана функція $u_i(r, \tau)$, як розв'язок рівняння (10), а другою – її квазіпохідна

$$\mathbf{u}_i(r, \tau) = \mathbf{B}_i(r, r_i) \cdot \mathbf{B}(r_i, r_0) \cdot \mathbf{P}_0 + \mathbf{B}_i(r, r_i) \cdot \sum_{k=1}^i \mathbf{B}(r_i, r_k) \cdot \mathbf{Z}_k + \int_{r_i}^r \mathbf{B}_i(r, s) \cdot \mathbf{q}_i(s) ds,$$

де $\mathbf{P}_0$ – початковий вектор, який обчислюється за формулою

$$\begin{aligned} \mathbf{P}_0 &= (\mathbf{P} + \mathbf{Q}\mathbf{B}(r_n, r_0))^{-1} \cdot (\mathbf{\Gamma} - \mathbf{Q} \sum_{k=1}^n \mathbf{B}(r_n, r_k) \cdot \mathbf{Z}_k), \\ P &= \begin{pmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{pmatrix}, \quad Q = \begin{pmatrix} 0 & 0 \\ \alpha r_n & 1 \end{pmatrix}, \quad \mathbf{\Gamma}(\tau) = (0, \alpha r_n \psi(\tau))^T, \quad \mathbf{B}_i(r, s) = \begin{pmatrix} 1 & K_i(r, s) \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, \\ K_{1i}(r, s) &= \frac{1}{\lambda_i} \ln \frac{r}{s}, \quad \mathbf{B}(r_i, r_0) = \begin{pmatrix} 1 & K(r_i, r_0) \\ 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad K(r_i, r_0) = \sum_{k=0}^{i-1} \frac{1}{\lambda_k} \ln \frac{r_{k+1}}{r_k}, \\ \mathbf{Z}_k &= - \begin{pmatrix} \frac{q_{v,k-1}}{\lambda_{k-1}} \left[\frac{1}{4} (r_k^2 - r_{k-1}^2) - \frac{r_{k-1}^2}{2} \ln \frac{r_k}{r_{k-1}} \right] \\ \frac{q_{v,k-1}}{2} (r_k^2 - r_{k-1}^2) \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} z_k \\ z_k^{[1]} \end{pmatrix}, \quad k = \overline{1, n-1}, \\ \int_{r_i}^r \mathbf{B}_i(r, s) \mathbf{q}_i ds &= - \begin{pmatrix} \frac{q_{vi}}{\lambda_i} \left[\frac{1}{4} (r^2 - r_i^2) - \frac{r_i^2}{2} \ln \frac{r}{r_i} \right] \\ \frac{q_{vi}}{2} (r^2 - r_i^2) \end{pmatrix}, \quad i = \overline{0, n-1}. \end{aligned}$$

Провівши відповідні математичні обчислення, встановлено, що вектор $\mathbf{P}_0$ має вигляд

$$\mathbf{P}_0 = \begin{pmatrix} p_0 \\ p_0^{[1]} \end{pmatrix},$$

$$p_0 = \alpha r_n \frac{q_{v0}}{\lambda_0} \left[\frac{1}{4} (r_1^2 - r_0^2) - \frac{r_0^2}{2} \ln \left(\frac{r_1}{r_0} \right) \right] + \alpha r_n \frac{q_{v0}}{2} (r_1^2 - r_0^2) \sum_{k=1}^n \frac{\ln \left(\frac{r_{k+1}}{r_k} \right)}{\lambda_k} +$$

$$\text{де} \quad + \alpha r_n \sum_{i=2}^n \left[\frac{q_{vi-1}}{\lambda_{i-1}} \left[\frac{1}{4} (r_i^2 - r_{i-1}^2) - \frac{r_{i-1}^2}{2} \ln \left(\frac{r_i}{r_{i-1}} \right) \right] + \frac{q_{vi-1}}{2} (r_i^2 - r_{i-1}^2) \sum_{k=i}^n \frac{\ln \left(\frac{r_{k+1}}{r_k} \right)}{\lambda_k} \right] - \alpha r_n \psi(\tau) -$$

$$- \left(\frac{q_{v0}}{2} (r_1^2 - r_0^2) + \sum_{i=2}^n \frac{q_{vi-1}}{2} (r_i^2 - r_{i-1}^2) \right),$$

$$p_0^{[1]} = 0.$$

Далі необхідно знайти функцію $v(r, \tau)$ як розв'язок задачі (12) з нульовими крайовими умовами (13) при початковій умові (14). Метод розв'язування такої задачі з використанням методу власних функцій детально описано в роботах [9-10,13-17]. Тут лише слід зауважити, що:

- 1) характеристичне рівняння відповідної задачі на власні значення матиме вигляд

$$\det [P + Q \cdot B(r_n, r_0, \omega)] = 0, \quad (15)$$

$$\text{де,} \quad B(r_n, r_0, \omega) = \prod_{i=1}^n B_{i-1}(r_i, r_{i-1}, \omega), \quad B_i(r_{i+1}, r_i, \omega) = \begin{pmatrix} b_{11}^i & b_{12}^i \\ b_{21}^i & b_{22}^i \end{pmatrix},$$

$$b_{11}^i = \frac{\pi \beta_i r_i (J_1(\beta_i, r_i) Y_0(\beta_i, r_{i+1}) - J_0(\beta_i, r_{i+1}) Y_1(\beta_i, r_i))}{2},$$

$$b_{12}^i = \frac{\pi (J_0(\beta_i, r_i) Y_0(\beta_i, r_{i+1}) - J_0(\beta_i, r_{i+1}) Y_0(\beta_i, r_i))}{2 \lambda_i},$$

$$b_{21}^i = \frac{\pi \lambda_i \beta_i^2 r_{i+1} r_i (J_1(\beta_i, r_{i+1}) Y_1(\beta_i, r_i) - J_1(\beta_i, r_i) Y_1(\beta_i, r_{i+1}))}{2},$$

$$b_{22}^i = \frac{\pi \beta_i r_{i+1} (J_1(\beta_i, r_{i+1}) Y_0(\beta_i, r_i) - J_0(\beta_i, r_i) Y_1(\beta_i, r_{i+1}))}{2},$$

$$2) \quad \beta_i = \sqrt{\frac{\omega c_i \rho_i}{\lambda_i}} \quad J_0, \quad J_1 \quad \text{і} \quad N_0, \quad N_1 - \text{функції Бесселя та Неймана нульового та першого}$$

порядків відповідно.

- 3) Власні вектори, першою координатою яких є власні функції мають вигляд [0]

$$\mathbf{R}_{k0}(r, \omega_k) = \tilde{B}_0(r, r_0, \omega_k) \cdot (1, \quad 0)^T = (b_{11}^0, \quad b_{21}^0)^T,$$

$$\mathbf{R}_{ki}(r, \omega_k) = \tilde{B}_{i-1}(r, r_{i-1}, \omega_k) \cdot \tilde{B}(r_{i-1}, r_0, \omega_k) \cdot (1, \quad 0)^T = \tilde{B}_{i-1}(r, r_{i-1}, \omega_k) \cdot \tilde{B}(r_{i-1}, r_1, \omega_k) \cdot (b_{11}^0, \quad b_{21}^0)^T.$$

(16)

Розв'язок задачі (12)-(14) методом власних функцій зображується у вигляді [11-13, 16-18]

$$v(r, \tau) \sum_{i=0}^{n-1} v_i(r, \tau) \cdot \theta_i,$$

$$v_i(r, \tau) = \sum_{k=1}^{\infty} \left[f_k \cdot e^{-\omega_k \tau} - \int_0^{\tau} e^{-\omega_k(\tau-s)} \gamma_k(s) ds \right] \cdot R_{ki}(r, \omega_k),$$

де f_k та γ_k коефіцієнти розвинення початкової умови T_0 та функції $\frac{\partial u}{\partial \tau}$

відповідно в ряди Фур'є за системою власних функцій $R_k(r, \omega_k)$.

Граничний перехід при $r_0 \rightarrow 0$ та зображення розв'язку вихідної задачі (1)-(4). На основі методу редукції розв'язок вихідної задачі зображується у вигляді

$$T(r, \tau) = \lim_{r_0 \rightarrow 0} (u(r, \tau) + v(r, \tau)).$$

Значення початкового вектору $\mathbf{P}_0$ після граничного переходу матиме вигляд:

$$\lim_{r_0 \rightarrow 0} \mathbf{P}_0 = \begin{pmatrix} \alpha r_n \frac{q_{v0}}{\lambda_0} \left[\frac{1}{4} r_1^2 \right] + \alpha r_n \frac{q_{v0}}{2} r_1^2 \sum_{k=1}^n \frac{\ln \left(\frac{r_{k+1}}{r_k} \right)}{\lambda_k} + \\ + \alpha r_n \sum_{i=2}^n \left[\frac{q_{vi-1}}{\lambda_{i-1}} \left[\frac{1}{4} (r_i^2 - r_{i-1}^2) - \frac{r_{i-1}^2}{2} \ln \left(\frac{r_i}{r_{i-1}} \right) \right] + \frac{q_{vi-1}}{2} (r_i^2 - r_{i-1}^2) \sum_{k=i}^n \frac{\ln \left(\frac{r_{k+1}}{r_k} \right)}{\lambda_k} \right] - \alpha r_n \psi(\tau) - \\ - \left(\frac{q_{v0}}{2} r_1^2 + \sum_{i=2}^n \frac{q_{vi-1}}{2} (r_i^2 - r_{i-1}^2) \right) \\ 0 \end{pmatrix}$$

Зауваження! Оскільки (див напр. [0]) $J_1(\beta_0 r_0) = \frac{\beta_0 r_0}{2} + \dots$,

$$Y_1(\beta_0 r_0) = \frac{2}{\pi} J_1(\beta_0 r_0) \left(\ln \frac{\beta_0 r_0}{2} + const \right) - \frac{2}{\pi \beta_0 r_0} - \frac{1}{\pi} \sum_{m=0}^{\infty} \left[\frac{(-1)^m \frac{\beta_0 r_0}{2}}{m!(m+1)!} \left(\sum_{k=1}^{m+1} \frac{1}{k} + \sum_{k=1}^m \frac{1}{k} \right) \right],$$

то

$$\begin{aligned} \lim_{r_0 \rightarrow 0} r_0 (J_1(\beta_0, r_0) Y_0(\beta_0, r_1) - J_0(\beta_0, r_1) Y_1(\beta_0, r_0)) &= \frac{2J_0(\beta_0, r_1)}{\pi \beta_0}, \\ \lim_{r_0 \rightarrow 0} r_0 (J_1(\beta_0, r_1) Y_1(\beta_0, r_0) - J_1(\beta_0, r_0) Y_1(\beta_0, r_1)) &= -\frac{2J_1(\beta_0, r_1)}{\pi \beta_0}. \end{aligned} \quad (17)$$

Позначивши $B(r_n, r_1, \omega) = B_{n-1}(r_n, r_{n-1}, \omega) \cdot B_{n-2}(r_{n-1}, r_{n-2}, \omega) \cdot \dots \cdot B_1(r_2, r_1, \omega) = \begin{pmatrix} c_{11} & c_{12} \\ c_{21} & c_{22} \end{pmatrix}$,

характеристичне рівняння (15) у розгорнутому вигляді можна записати наступним чином:

$$\begin{aligned} & (\alpha r_n c_{11} + c_{21}) \frac{\pi \beta_0 r_0 (J_1(\beta_0, r_0) Y_0(\beta_0, r_1) - J_0(\beta_0, r_1) Y_1(\beta_0, r_0))}{2} + \\ & + (\alpha r_n c_{12} + c_{22}) \frac{\pi \lambda_0 \beta_0^2 r_1 r_0 (J_1(\beta_0, r_1) Y_1(\beta_0, r_0) - J_1(\beta_0, r_0) Y_1(\beta_0, r_1))}{2} = 0, \end{aligned}$$

а на основі (17) отримуємо характеристичне рівняння (15) після граничного переходу:

$$\lim_{r_0 \rightarrow 0} \Delta(r_0) = (\alpha r_n c_{11} + c_{21}) J_0(\beta_0, r_1) - (\alpha r_n c_{12} + c_{22}) \lambda_0 \beta_0 r_1 J_1(\beta_0, r_1) = 0.$$

Відповідні власні вектори (16) після граничного переходу зобразяться так:

$$\begin{aligned} \mathbf{R}_{k0}(r, \omega_k) &= \tilde{B}_0(r, 0, \omega) \cdot (1, 0)^T = (J_0(\beta_0 \cdot r), -\lambda_0 \beta_0 r J_0(\beta_0 \cdot r))^T, \\ \mathbf{R}_{k0}(0, \omega_k) &= (1, 0)^T, \\ \mathbf{R}_{ki}(r, \omega_k) &= \tilde{B}_{i-1}(r, r_{i-1}, \omega) \cdot \tilde{B}(r_{i-1}, r_1, \omega) \cdot (J_0(\beta_0 \cdot r_1), -\lambda_0 \beta_0 r_1 J_0(\beta_0 \cdot r_1))^T. \end{aligned}$$

На основі вище наведених формул можна зробити висновок, що функція $T(r, \tau)$ є обмеженою у всій конструкції та немає особливостей в точці $r = 0$.

Модельний приклад. Задля ілюстрації запропонованого методу розглянемо модельний приклад, про нагрівання

циліндричної конструкції, яка складається з ядра та тришарової оболонки. Теплофізичні характеристики та геометричні розміри конструкції наведено у табл. 1.

Таблиця 1 – Теплотехнічні характеристики конструкції

Параметр	Ядро	Шар 1	Шар 2	Шар 3
Радіус r , м	$r_0 = 0,05$	$r_1 = 0,08$	$r_2 = 0,1$	$r_3 = 0,12$
Коефіцієнт теплопровідності λ , $\frac{\text{Вт}}{\text{м} \cdot ^\circ\text{C}}$	2,9	0,146	209	0,9
Питома масова теплоємність c , $\frac{\text{Дж}}{\text{кг} \cdot ^\circ\text{C}}$	921	1580	894	1340
Густина ρ , $\frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$	2800	1600	2680	240
Внутрішнє джерело тепла q_v , $\frac{\text{кВт}}{\text{м}^3}$	10	відсутнє	25	відсутнє

Температура навколо зовнішньої поверхні конструкції змінюється за стандартним температурним режимом пожежі

$$\psi(\tau) = 345 \lg\left(\frac{8\tau}{60} + 1\right) + 20.$$

Коефіцієнт теплообміну між поверхнею конструкції та середовищем пожежі становить $\alpha = 25 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C}}$. Початкова

температура конструкції 20°C . Необхідно знайти розподіл нестационарного температурного поля вздовж радіуса циліндричної конструкції. Використавши вищеописаний метод, який реалізовано у системі комп'ютерної алгебри Maple 13 [0], отримуємо розв'язок поставленої задачі у вигляді графіка (рис. 1).

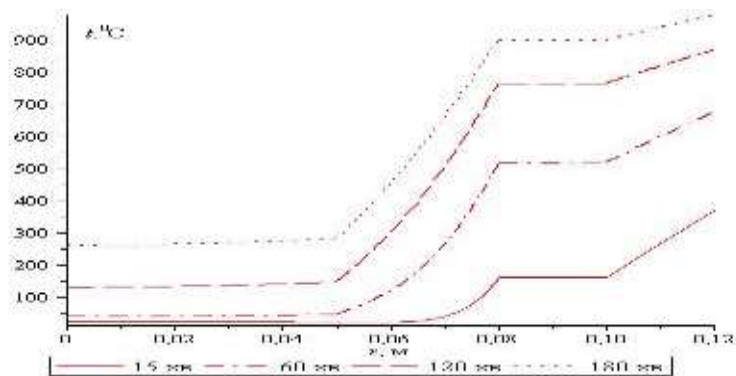


Рисунок 1 – Розподіл нестационарного температурного поля циліндричної конструкції

Висновки. До розв’язування поставленої задачі застосовано прямий аналітичний метод, щодо визначення нестационарного температурного поля у суцільній багатосаровій циліндричній конструкції з урахуванням внутрішніх джерел тепла. Використано ідею граничного переходу шляхом прямування радіуса «вилученого»

циліндра до нуля. Встановлено, що при такому підході всі відповідні функції не мають особливостей в нулі, а це означає, що й розв’язок вихідної задачі є обмеженим. Розв’язаний приклад є модельним, що ілюструє лише можливості запропонованого методу.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Лыков А. В. Теория теплопроводности. М. : Высшая школа, 1967. 600 с.
2. F. de Monte. Unsteady heat conduction in two-dimensional two slab-shaped regions. Exact closed-form solution and results. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2003. Vol. 46, Issue 8. pp. 1455–1469. [https://doi.org/10.1016/S0017-9310\(02\)00417-9](https://doi.org/10.1016/S0017-9310(02)00417-9).
3. Singh S. Analytical solution for three-dimensional, unsteady heat conduction in a multilayer sphere. *Journal of Heat Transfer*. 2016. Vol. 138, Issue 10. P.101301. <https://doi.org/10.1115/1.4033536>.
4. X. Lu. A new analytical method to solve the heat equation for a multi-dimensional composite slab. *J. Phys. A: Math. Gen.* 2005. No. 38. Pp. 2873–2890.
5. X. Lu. Transient analytical solution to heat conduction in composite circular cylinder. *Int. J. Heat Mass Transf.* 2006. No. 49. Pp. 341–348. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2005.06.019>.
6. Özişik M. N. Finite Difference Methods in Heat Transfer. *Second Edition*. New York : CRC Press, 2017. 580 p. <https://doi.org/10.1201/9781315121475>
7. Gosz M. R. Finite Element Method: Applications in Solids, Structures, and Heat Transfer. New York : CRC Press, 2017. 400 p. <https://doi.org/10.1201/9781315275857>
8. Daneshjou, K. Transient thermal analysis in 2D orthotropic FG hollow cylinder with heat source. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2015. No 89. Pp. 977–984. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.05.104>
9. Pazen O. Yu. Direct (classical) method of calculation of the temperature field in a hollow multilayer cylinder. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. 2018. Vol. 91, Issue 6. Pp. 1373–1384. <https://doi.org/10.1007/s10891-018-1871-3>
10. Таций Р. М., Стасюк М. Ф., Пазен О., Ю. Прямой метод расчета температурного поля в многослойной полой сферической конструкции. *Вестник Кокшетауского технического института*. 2018. №29, 1. С. 9–20.
11. Yang, B. Closed-form analytical solutions of transient heat conduction in hollow composite cylinders with any number of layers. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2017. Vol. 108. Pp. 907–917. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.12.020>
12. Pazen O. Yu. General boundary-value problems for the heat conduction equation with piecewise-continuous coefficients. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. 2016. Vol. 89, no. 2. Pp. 357–368. <https://doi.org/10.1007/s10891-016-1386-8>

13. Тацій Р. М. Прямий метод розрахунку нестационарного температурного поля за умов пожежі. *Збірник наукових праць Пожежна безпека*. 2015. № 26. С. 135-141.
14. Арсенин В.Я. Методы математической физики. М. : Наука, 1974. 432 с.
15. Тихонов А.Н. Уравнения математической физики. М. : Наука, 1977. 735 с.
16. Тацій Р. М. Загальна третя крайова задача для рівняння теплопровідності з кусково-сталими коефіцієнтами та внутрішніми джерелами тепла. *Збірник наукових праць Пожежна безпека*. 2015. № 27. С. 120-126.
17. Tatsiy R., Stasiuk M., Pazen O., & Vovk S. Modeling of Boundary-Value Problems of Heat Conduction for Multilayered Hollow Cylinder. *Problems of Infocommunications. Science and Technology*. Pp. 21-25. DOI: [10.1109/INFOCOMMST.2018.8632131](https://doi.org/10.1109/INFOCOMMST.2018.8632131).
18. Толстов Г. П. Ряды Фурье. М.: Физмалит, 1960. 392 с.

REFERENCES

1. Lyikov A. V. Teoriya teploprovodnosti. M. : Vysshaya shkola, 1967. 600 s.
2. F. de Monte. Unsteady heat conduction in two-dimensional two slab-shaped regions. Exact closed-form solution and results. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2003. Vol. 46, Issue 8. pp. 1455-1469. [https://doi.org/10.1016/S0017-9310\(02\)00417-9](https://doi.org/10.1016/S0017-9310(02)00417-9).
3. Singh S. Analytical solution for three-dimensional, unsteady heat conduction in a multilayer sphere. *Journal of Heat Transfer*. 2016. Vol. 138, Issue 10. P.101301. <https://doi.org/10.1115/1.4033536>.
4. X. Lu. A new analytical method to solve the heat equation for a multi-dimensional composite slab. *J. Phys. A: Math. Gen.* 2005. No. 38. Pp. 2873–2890.
5. X. Lu. Transient analytical solution to heat conduction in composite circular cylinder. *Int. J. Heat Mass Transf.* 2006. No. 49. Pp. 341–348. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2005.06.019>.
6. Özisik M. N. Finite Difference Methods in Heat Transfer. *Second Edition*. New York : CRC Press, 2017. 580 p. <https://doi.org/10.1201/9781315121475>
7. Gosz M. R. Finite Element Method: Applications in Solids, Structures, and Heat Transfer. New York : CRC Press, 2017. 400 p. <https://doi.org/10.1201/9781315275857>
8. Daneshjou, K. Transient thermal analysis in 2D orthotropic FG hollow cylinder with heat source. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2015. No 89. Pp. 977–984. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2015.05.104>
9. Pazen O. Yu. Direct (classical) method of calculation of the temperature field in a hollow multilayer cylinder. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. 2018. Vol. 91, Issue 6. Pp. 1373-1384. <https://doi.org/10.1007/s10891-018-1871-3>
10. Tatsiy R. M., Stasyuk M. F., Pazen O., Yu. Pryamoy metod rascheta temperaturnogo polya v mnogoslonoj poloy sfericheskoy konstruktsii. *Vestnik Kokshetauskogo tehničeskogo instituta*. 2018. #29, 1. S. 9-20.
11. Yang, B. Closed-form analytical solutions of transient heat conduction in hollow composite cylinders with any number of layers. *International Journal of Heat and Mass Transfer*. 2017. Vol. 108. Pp. 907–917. <https://doi.org/10.1016/j.ijheatmasstransfer.2016.12.020>
12. Pazen O. Yu. General boundary-value problems for the heat conduction equation with piecewise-continuous coefficients. *Journal of Engineering Physics and Thermophysics*. 2016. Vol. 89, no. 2. Pp. 357-368. <https://doi.org/10.1007/s10891-016-1386-8>
13. Tatsiy R. M., Stasyuk M. F., Pazen O., Yu. Pryamoy metod rascheta temperaturnogo polya v mnogoslonoj poloy sfericheskoy konstruktsii. *Vestnik Kokshetauskogo tehničeskogo instituta*. 2018. #29, 1. S. 9-20.
14. Arsenin V.Ya. Metody matematicheskoy fiziki. M. : Nauka, 1974. 432 s.
15. Tihonov A.N. Uravneniya matematicheskoy fiziki. M. : Nauka, 1977. 735 s.
16. Tatsii R. M. Zahalna tretia kraiova zadacha dlia rivniannia teploprovodnosti z kuskovo-stalymy koefitsientamy ta vnutrishnimy dzherelamy tepla. *Zbirnyk naukovykh prats Pozhezhna bezpeka*. 2015. № 27. S. 120-126 [In Ukrainian].
17. Tatsiy R., Stasiuk M., Pazen O., & Vovk S. Modeling of Boundary-Value Problems of Heat Conduction for Multilayered Hollow Cylinder. *Problems of Infocommunications. Science and Technology*. Pp. 21-25. DOI: [10.1109/INFOCOMMST.2018.8632131](https://doi.org/10.1109/INFOCOMMST.2018.8632131) [In Ukrainian].
18. Tolstov G. P. Ryadyi Fure. M.: Fizmalit, 1960. 392 s.

MATHEMATICAL MODELING OF THE HEAT EXCHANGE PROCESS IN A MULTILAYER SOLID CYLINDER TAKING INTO ACCOUNT INTERNAL HEAT SOURCES

*O. Pazen, Cand. Sc. (Eng., Prof.); R. Tatsiy, Dr. Sc. (Phys. & Math.),
Lviv State University of life safety, Ukraine*

KEY WORDS	ANNOTATION
solid cylindrical, quasi-derivative, direct method, boundary transition	The study of heat transfer in multilayer solid cylindrical structures is an integral part in determining the limit of fire resistance of structures: columns of round cross section, tubular concrete columns and structures that have a round solid cross section. Analytical methods should be applied to multilayer structures. However, in practice, the number of layers is usually limited to two or three. This is due to the fact that with increasing number of layers, the requirements for calculations increase significantly. In addition, in the problems "cylinder inside the multilayer shell", there is a problem of limiting the solution at the point. The aim of this work was to apply a direct method to find an effective analytical solution of the problem of thermal conductivity in solid multilayer cylindrical structures, taking into account internal heat sources. A direct analytical method was used to determine the nonstationary temperature field in a solid multilayer cylindrical structure taking into account internal heat sources. The idea of boundary transition by directing the radius of the "removed" cylinder to zero is used. It is established that in this approach all the corresponding functions do not have singularities in zero, which means that the solution of the original problem is limited. The solved example is a model, which illustrates only the possibilities of the proposed method.

УДК 614.841

Віталій Присяжнюк

ORCID iD [0000-0002-9780-785X](https://orcid.org/0000-0002-9780-785X)

Сергій Семичаєвський,

ORCID iD [0000-0002-2413-5386](https://orcid.org/0000-0002-2413-5386)

Міхайл Якіменко,

ORCID iD [0000-0003-4988-8015](https://orcid.org/0000-0003-4988-8015)

Максим Осадчук,

ORCID iD [0000-0002-4584-3541](https://orcid.org/0000-0002-4584-3541)

Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту,

E-mail: semich2006@ukr.net

АНАЛІЗ ЄВРОПЕЙСЬКИХ ПІДХОДІВ ЩОДО ТЕХНІЧНИХ ВИМОГ ТА МЕТОДІВ ВИПРОБУВАНЬ ПОЖЕЖНИХ ПЛОСКОСКЛАДАНИХ РУКАВІВ ДЛЯ ПОЖЕЖНО-РЯТУВАЛЬНИХ АВТОМОБІЛІВ

<https://doi.org/10.33269/nvcz.2020.1.76-83>

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 01.10.2020

Пройшла рецензування: 21.10.2020

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

гідравлічний випробувальний тиск, гідравлічний робочий тиск, гідравлічний розривний тиск, методи випробувань, пожежні плоскоскладані рукави, пожежно-рятувальні автомобілі, стирання, технічні вимоги.

АНОТАЦІЯ

Наведено актуальність розроблення національного стандарту, що регламентує загальні технічні вимоги та методи випробувань пожежних плоскоскладаних рукавів для пожежно-рятувальних автомобілів. Проаналізовано сучасні підходи Європейського Союзу щодо встановлення технічних вимог та методів оцінювання якості таких рукавів. Визначено можливість застосування вказаних підходів на національному рівні.

Пожежно-технічне оснащення є матеріальною основою забезпечення оперативного-тактичних дій підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту ДСНС України (далі – ОРСЦЗ) з ліквідації надзвичайних ситуацій природного та техногенного характеру, в тому числі гасіння пожеж та проведення аварійно-рятувальних робіт. Від його технічного стану, уміння особового складу правильно експлуатувати оснащення, що знаходиться в його розпорядженні, залежить оперативність та тактичні можливості підрозділів ОРСЦЗ.

Вагомим складовим елементом пожежно-технічного оснащення є пожежні рукави. Відповідно до ДСТУ 2273 [1]

пожежний рукав – це гнучкий трубопровід, обладнаний на кінцях з'єднувальними головками, призначений для транспортування вогнегасних речовин.

Згідно з ДСТУ 2273 [1] є такі види пожежних рукавів:

напірні рукави (в країнах Євросоюзу вони класифікуються як – «плоскоскладані») призначені для транспортування вогнегасних речовин під надлишковим тиском;

всмоктувальні рукави – призначені для транспортування водних вогнегасних речовин під розрідженням;

напірно-всмоктувальні рукави – призначені для транспортування водних

вогнегасних речовин як під надлишковим тиском, так і розрідженням.

Серед технічних засобів, що призначені для транспортування вогнегасних речовин до осередку пожежі, головну роль безумовно відіграють напірні пожежні рукави.

На теперішній час підрозділами ОРСЦЗ використовуються переважно напірні пожежні рукави типу «Т» (для пожежно-рятувальних автомобілів) діаметром 51 мм та 77 мм, технічний стан яких часто не відповідає встановленим вимогам, які можуть не витримувати тиск, що розвивають насоси навіть традиційно застосовуваних пожежно-рятувальних автомобілів під час гасіння пожеж.

Використання таких рукавів під час гасіння пожеж може призводити до обмеження можливостей, зниження ефективності оперативно-тактичних дій підрозділів ОРСЦЗ, а також наражати особовий склад на небезпеку.

Вимоги чинного на теперішній час в Україні національного стандарту ДСТУ 3810-98 [2] застаріли і не відповідають практичним потребам сьогодення. З урахуванням того, що в провідних країнах світу з'явилися нові види пожежних рукавів та технології їх створення, а також зважаючи на те, що прийнятий в Україні ДСТУ EN 15889:2017 [3] не поширюється на пожежні плоскоскладані рукави для пожежно-рятувальних автомобілів, актуальним є питання розроблення національного стандарту саме на такий вид пожежних рукавів.

Крім того, в європейському нормативному документі CEN/TR 16099 [4] вказано, що в Європейському Союзі відсутній єдиний стандарт, що встановлював би технічні вимоги до «пожежних плоскоскладаних рукавів атаки», тобто тих, що застосовуються з насосами пожежно-рятувальних автомобілів. В країнах ЄС це питання врегульовується окремими національними стандартами країн-членів. Підтвердженням такого підходу є національний стандарт Німеччини DIN 14811-2008/A1-2012, A2-2014 [5].

Аналіз останніх досліджень та публікацій й постановка проблеми.

Теоретичним та експериментальним дослідженням гнучких трубопроводів і, зокрема, напірних пожежних рукавів присвячена низка наукових праць, серед яких роботи Бідермана В.Л. [6], Степанова О.С. [7], Пурдика В.П. [8-9], Муляра Ю.І. [10-12], Дусанюк Ж.П. [13-14], Назаренка С.Ю. [15], Присяжнюка Л.А. [16], Лящука Р.Г. [17], Брендана [18], Шомейкера [19], Нгуена Ван Тху [20] та ін. Роботи [6-14], [18, 19] стосуються в основному досліджень міцності напірних пожежних рукавів, а саме механічних властивостей їх матеріалу, визначення навантажень, що діють на рукави під час експлуатації та їх довговічності.

У монографії [15] проведено аналіз конструктивного виконання напірних пожежних рукавів, особливостей їх експлуатації та методів випробувань, зокрема на цілісність та герметичність під час дії гідравлічного робочого та гідравлічного випробувального тисків. Наведено основні технічні характеристики напірних пожежних рукавів.

У звіті [16] наведено результати досліджень щодо обґрунтування технічних вимог до напірних пожежних рукавів, зокрема тих, що застосовуються разом із пожежно-рятувальною технікою.

У монографії Лящука Р.Г. [17] наводяться основні відомості про типи і конструкції пожежних рукавів, технологію їх виробництва, умови зберігання, експлуатації та ремонту. Автором відзначається, що напірні пожежні рукави, поряд із пожежними насосами та іншим устаткуванням, є одним із основних видів пожежного обладнання і від їх справного стану багато в чому залежить готовність підрозділів до дій за призначенням.

Дослідженням властивостей напірних пожежних рукавів та пошуку шляхів вдосконалення їх експлуатації присвячена робота Нгуен Ван Тху [20]. В роботі, зокрема, проведено аналіз причин виходу з ладу напірних пожежних рукавів, експериментально встановлено коефіцієнти тертя матеріалів рукавів як із

синтетичних, так і з натуральних волокон, доведено, що коефіцієнти тертя збільшуються у разі зволоження матеріалу рукавів, і розроблено методику зниження тертя.

Треба відмітити, що вищенаведені дослідження не містять сучасних підходів провідних країн світу стосовно класифікаційних вимог до плоскоскладаних пожежних рукавів, що застосовуються разом із пожежно-рятувальною технікою, встановлення технічних вимог до них, зокрема щодо допустимих значень гідравлічного робочого, гідравлічного випробувального та мінімального гідравлічного розривного тисків. Крім того, ці дослідження не охоплюють сучасні європейські підходи до проведення оцінювання якості таких рукавів, зокрема щодо гідравлічних випробувань, визначення стійкості до поверхневого та точкового стирання, дії відкритого полум'я тощо.

Мета і завдання дослідження. Метою даного дослідження є аналіз сучасних європейських підходів до встановлення технічних вимог та методів оцінювання якості пожежних плоскоскладаних рукавів для пожежно-рятувальних автомобілів.

Для досягнення цієї мети було поставлено завдання щодо визначення загальних принципів і особливостей зазначених європейських підходів, для подальшого встановлення придатності відповідних технічних вимог та процедур оцінювання якості пожежних рукавів до застосування на національному рівні.

Виклад основного матеріалу. В Інституті державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту (далі – ІДУ НД ЦЗ) проводиться науково-дослідна робота «Обґрунтування методів випробувань пожежних рукавів», в рамках якої на теперішній час розроблено першу редакцію проєкту національного стандарту ДСТУ «Протипожежна техніка. Рукави пожежні плоскоскладані для пожежно-рятувальних автомобілів. Загальні технічні вимоги та методи випробувань» (далі – проєкт стандарту).

В ході проведення попередніх досліджень в рамках вказаної науково-дослідної роботи було проаналізовано нормативну базу та інші літературні джерела [1-30], що стосуються дослідження технічних характеристик пожежних рукавів, зокрема – напірних рукавів, що застосовуються разом із пожежно-рятувальною технікою в Україні та провідних країнах світу.

Враховуючи вимоги німецького стандарту DIN 14811-2008/A1-2012, A2-2014 [5], в проєкті стандарту було запропоновано таку класифікацію пожежних плоскоскладаних рукавів для пожежно-рятувальних автомобілів:

1-й клас – рукав без зовнішнього покриття;

2-й клас – рукав з зовнішнім покриттям товщиною до 0,3 мм включно;

3-й клас – рукав з зовнішнім покриттям товщиною більше ніж 0,3 мм.

Основні параметри та розміри рукавів, які прийнято згідно з DIN 14811-2008/A1-2012, A2-2014 [5], наведено у табл. 1.

Як свідчать результати досліджень [15], лише 75 % дефектів напірних пожежних рукавів виявляються в ході гідравлічних випробувань, а невиявлена частина дефектів призводить до відмов рукавів на пожежі. Тому одними з основних технічних характеристик напірних пожежних рукавів є їх гідравлічний робочий тиск, гідравлічний випробувальний тиск та мінімальний гідравлічний розривний тиск.

Відповідно до сучасних європейських вимог в проєкті стандарту прийнято допустимі значення зазначених тисків, які приведено у табл. 2.

Не менш важливим показником якості напірних пожежних рукавів є стійкість до стирання, що є характеристикою їх зностостійкості. Відповідно до вимог ДСТУ EN 15889:2017 [3] та DIN 14811-2008/A1-2012, A2-2014 [5] у проєкті стандарту прийнято, що під час випробування із забезпеченням кількості обертів до стирання поверхні рукава 1-го та 2-го класів, вказаної в табл. 3, у всіх з п'яти зразків для випробування не повинно

бути порушення герметичності і розриву окремих ниток каркаса у разі піддавання дії робочого тиску, вказаного в табл. 2.

Крім того, у проєкті стандарту прийнято, що під час випробування

середня кількість циклів (подвійних ходів), здійснених до точкового стирання рукава 3-го класу, повинна бути не меншою за ту, що вказано в табл. 4.

Таблиця 1 – Основні параметри та розміри рукавів

Внутрішній діаметр рукава, мм	Маса погонного метра рукава, кг, не більше ніж		
	1 клас	2 клас	3 клас
25,0±1,0	0,18	0,20	0,23
32,0±1,0	0,20	0,25	0,29
38,0±1,0	0,24	0,29	0,35
51,0±1,0	0,35	0,42	0,50
66,0±1,0	0,45	0,55	0,66
77,0±1,5	0,55	0,66	0,79
100,0±2,0	0,84	0,98	1,21
125,0±2,0	-	-	1,70
150,0±2,0	-	-	1,80

Примітка. Рукави з внутрішніми діаметрами (125,0±2,0) мм та (150,0±2,0) мм відносяться виключно до рукавів 3-го класу

Таблиця 2 – Допустимі значення робочого, випробувального та мінімального розривного тиску

Тиск, МПа	Внутрішній діаметр, мм	
	Від (25,0±1,0) до (77,0±1,0)	Від (100,0±2,0) до (150,0±2,0)
Робочий тиск	1,6	1,2
Випробувальний тиск	2,4	1,8
Мінімальний розривний тиск	6,0	3,5

Таблиця 3 – Кількість обертів до стирання поверхні рукавів 1-го та 2-го класів

Клас рукава	Кількість обертів до стирання поверхні рукава
1	80
2	180

Таблиця 4 – Середня кількість циклів (подвійних ходів), здійснених до точкового стирання рукава 3-го класу

Внутрішній діаметр, мм	Мінімальна кількість подвійних ходів
Від (25,0±1,0) до (51,0±1,0)	70
Від (66,0±1,0) до (77,0±1,5)	100
Від (100,0±2,0) до (150,0±2,0)	120

В рамках науково-дослідної роботи «Обґрунтування методів випробувань пожежних рукавів» проведено експериментальні дослідження пожежних плоскоскладаних рукавів для пожежно-рятувальних автомобілів, особливості проведення та результати яких висвітлено в публікації [31]. Технічні характеристики, що наведені у табл. 2-4 підтверджено вказаними експериментальними дослідженнями, результати яких дозволили визначитися з показниками якості, їх нормами та методами їх оцінки, які на сьогоднішній день відповідають технічному рівню та контролю якості плоскоскладаних пожежних напірних рукавів, що використовуються для

протипожежної техніки у провідних країнах світу.

Всі вищенаведені європейські підходи враховано в першій редакції проєкту стандарту, який після прийняття в подальшому сприятиме впровадженню у практичну роботу підрозділів ОРСЦЗ сучасних й надійних пожежних рукавів.

Висновки. Визначено сучасні європейські підходи до встановлення класифікаційних та технічних вимог і методів оцінювання якості пожежних плоскоскладаних рукавів для пожежно-рятувальних автомобілів.

Встановлено придатність відповідних сучасних європейських технічних вимог та процедур оцінювання

якості до застосування у національному стандарті, який розробляється.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ДСТУ 2273:2006. Протипожежна техніка. Терміни та визначення основних понять. [Чинний від 2007-04-01]. К. : Держспоживстандарт України, 2007. 44 с.
2. ДСТУ 3810-98. Пожежна техніка. Рукава пожежні напірні. Загальні технічні умови. [Чинний від 2000-01-01]. К.: Держстандарт України, 1999. 39 с.
3. ДСТУ EN 15889:2017. Пожежні рукави. Методи випробування (EN 15889:2011, IDT). [Чинний від 2017-08-04]. К.: Держстандарт України, 2017. 20 с.
4. CEN/TR 16099. Пожежа техніка. Узагальнення значень тисків води, зазначене в опублікованих стандартах CEN / TC 192. [Чинний від 2011-01-01]. Дублін: Національний орган із стандартизації Ірландії, 2011. 17 с.
5. DIN 14811-2008/A1-2012, A2-2014. National standard of Germany Fire-fighting hoses - non-percolating layflat delivery hoses and hose assemblies for pumps and vehicles. Berlin, German Institute for Standardization Publ., 46.
6. Бидерман В. Л., Механика тонкостенных конструкций. Статика. М., 1977. 488 с.
7. Степанов О. С. Применение теории строения ткани для прочностного расчета напорных пожарных рукавов при гидравлическом воздействии: автореф. дис. на соискание ученой степени канд. техн. Наук : 05.19.02. Иваново, 2012. 20 с.
8. Пурдик В. П., Поздняков М. Ю. Експериментальний стенд та методика визначення динамічних характеристик гнучких трубопроводів високого тиску. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2015. №1. С. 96-102.
9. Пурдик В. П., Поздняков М. Ю. Модернізація стенда для дослідження динамічних характеристик гнучких рукавів високого тиску. *Вісник машинобудування та транспорту* №2(4), 2016. С. 84-91.
10. Муляр Ю.І. Вибір параметрів стенда для ресурсних випробувань рукавів високого тиску. *Вісник машинобудування та транспорту*. 2015. №1. С. 96-102.
11. Муляр Ю. І., Глушич В. О., Дусанюк Ж. П., Дусанюк С. В. Експериментальні дослідження довговічності рукавів високого тиску. *Вибрати в техніці та технологіях*. 2002. №2. С.34-38.
12. Муляр Ю. І., Купчик О. В. Математична модель гідроприводу стенду для випробування на довговічність рукавів високого тиску результати її дослідження. *Вісник ВПІ*. 2008. №3. С.73-78.
13. Дусанюк Ж. П., Дусанюк С. В., Карватко О. В. Імітаційні дослідження впливу параметрів рукава високого тиску на його жорсткість. *Вісник ВПІ*. 2010. №3. С.80-84.
14. Дусанюк Ж. П., Репінський С. В., Гоменюк М. В. Модернізація конструкції стенда для випробування рукавів високого тиску. Матеріали XLVI науково-технічної конференції підрозділів Вінницького національного технічного університету (НТКП ВНТУ–2017) : збірник доповідей. Електронне мережне наукове видання. Вінниця : ВНТУ, 2017. URL : https://conferences.vntu.edu.ua/public/files/1/fmt_2017_netpub.pdf. (дата звернення : 20.10.2020).
15. Розрахунково-експериментальна оцінка надійності гумо-кордних напірних рукавів : монографія / Назаренко С. Ю. та ін. Х.: ФОП Панов А.М., 2019. 136 с.
16. Розробити проект ДСТУ Техніка пожежна. Рукава пожежні напірні. Загальні технічні умови : звіт про НДР (заключний) УКРНДІПБ; кер. Л. А. Присяжнюк. К., 1998. 209 с.
17. Ляцук Р.Г. Эксплуатация и ремонт пожарных рукавов. М.: 1964. 96 с.
18. Pat. EP 2722076. A European Patent Application, IPC A62C 35/20. Fire hose / Martin, Aubrey Brendan: Angus Fire Armour Limited. № EP20120188679, appl. 16.10.2012. Pub. Date: 23.04.2014.
19. Pat. US 5593527 USA. IPC B29C47/02. Double jacketed fire hose and a method for making a double jacketed fire hose / Schomaker J.B., Kirjk M., Ruff-corn D.A.: Snap-Tite, Inc. № US08/440,683, appl. 15.05.1995. Pub. Date: 14.01.1997.
20. Нгуен, Ван Тху Совершенствование эксплуатации пожарных напорных рукавов в СРВ : автореф. дис. ... канд. техн. наук.: 05.26.01. М., 1984. 12 с.
21. Елфимова М.В., Архипов Г. Ф. Актуальные проблемы обслуживания пожарных рукавов. *Проблемы управления рисками в техносфере*. 2011. № 3 (19). СПб.: Изд. УГПС МЧС России. С. 35-40.
22. Елфимова М.В. Обслуживание пожарных рукавов. *Вестник Восточно-Сибирского института МВД России*. 2010. № 3 (54). С. 55-61.
23. Яковенко Ю.Ф. Пожарно-техническое вооружение на пожарных автомобилях: частота использования и принципы размещения. Ф. Яковенко. *ПАСС*. 2007. № 3. С. 14-18.

24. ГОСТ (проект, Республіка Білорусь) Техника пожарная. Рукава пожарные напорные. Общие технические требования. Методы испытаний. – Минск : Национальный технический комитет по стандартизации. 20 с.
25. DIN EN ISO 1402:1996-09. Rubber and plastics hoses and hose assemblies - Hydrostatic testing (ISO 1402:1994). URL : <https://www.beuth.de/de/norm/din-en-iso-1402/2849839> (дата звернення 20.10.2020).
26. NFPA 1961:2013. Fire hose. National Fire Protection Association. Published: 01-02013 (Стандарт на пожежні рукави. [Чинний від 2013–01–01]). URL : https://infostore.saiglobal.com/en-us/Standards/NFPA-1961-2013-829852_SAIG_NFPA_NFPA_1977689/ (дата звернення : 20.10.2020).
27. Перше проектне засідання Технічного комітету з питань пожежних рукавів (NFPA 1961) : Атланта, GA 30313, 2015.
28. ДСТУ 3931-99. Техніка пожежна. Рукава пожежні всмоктувальні та напірно-всмоктувальні. Загальні технічні вимоги та методи випробувань. [Чинний від 2000-07-01]. К. : Держстандарт України, 1999. 20 с.
29. BS EN 1947:2002 (2002). National standard of Great Britain Fire-fighting hoses - Semi-rigid delivery hoses and hose assemblies for pumps and vehicles. London, British Standards Institution Publ. 38.
30. BS EN 694:2001 (2004) Fire-fighting hoses - Semi-rigid hoses for fixed systems. London, British Standards Institution Publ., 26.
31. Щодо експериментального обґрунтування показників якості напірних пожежних плоскоскладаних для пожежно-рятувальної техніки та методів їх оцінки / Присяжнюк В. В. та ін. *Комунальне господарство міст*. 2020. Том 3. випуск 156. С. 217-221.

REFERENCES

1. State Standard of Ukraine 2273:2006 (2007) Fire fighting equipment. Terms and definitions of basic concepts. Kiev, State Committee for Technical Regulation and Consumer Policy Publ., 44. [In Ukrainian].
2. State Standard of Ukraine 3810-98 (1999) Fire service equipment. Fire-fighting delivery hoses. General specifications. Kiev, State Committee for Technical Regulation and Consumer Policy Publ., 39. [In Ukrainian].
3. State Standard of Ukraine EN 15889:2017 (2017) Fire-fighting hoses – Test methods (EN 15889:2011, IDT). Kiev, State Committee for Technical Regulation and Consumer Policy Publ., 20. [In Ukrainian].
4. CEN/TR 16099 Fire service equipment. Summary of water pressures specified in published CEN/TC 192 standards (2011). Dublin, National Standardization Authority of Ireland Publ., 17. [In English].
5. DIN 14811-2008/A1-2012, A2-2014 (2008). National standard of Germany Fire-fighting hoses - non-percolating layflat delivery hoses and hose assemblies for pumps and vehicles. Berlin, German Institute for Standardization Publ., 46. [In English].
6. Biderman V. L. Mechanics of thin-walled structures. Statics. M., 1977. 488 p. [In Russian].
7. Stepanov O. S. Application of the theory of fabric structure for strength calculation of pressure fire hoses under hydraulic action: author's ref. dis. for the degree of Cand. tech. Sciences: 05.19.02. Ivanovo, 2012. 20 p. [In Russian].
8. Purdik V. P., Pozdyakov M. Yu. Experimental stand and methods for determining the dynamic characteristics of high-pressure flexible pipelines. *Bulletin of Mechanical Engineering and Transport*. 2015. №1. P. 96-102 [In Russian].
9. Purdik V. P., Pozdyakov M. Yu. Modernization of the stand for research of dynamic characteristics of flexible high-pressure hoses. *Bulletin of Mechanical Engineering and Transport* 2016. №2 (4). P. 84-91 [In Ukrainian].
10. Mulyar Yu.I. Selection of stand parameters for resource tests of high pressure hoses. *Bulletin of Mechanical Engineering and Transport*. 2015. №1. P. 96-102 [In Ukrainian].
11. Mulyar Yu. I., Glushich V. O., Dusanyuk J. P., Dusanyuk S. V. Experimental studies of the durability of high pressure hoses. *Vibrations in equipment and technologies*. 2002. №2. P. 34-38 [In Ukrainian].
12. Mulyar Yu. I., Kupchik O. V. Mathematical model of the hydraulic drive of the stand for testing the durability of high pressure hoses and the results of its research. *Bulletin VPI*. 2008. №3. P.73-78 [In Ukrainian].
13. Dusanyuk J. P., Dusanyuk S. V., Karvatko O. V. Simulation studies of the influence of high pressure hose parameters on its rigidity. *Bulletin VPI*. 2010. G3. P.80-84 [In Ukrainian].
14. Dusanyuk J. P., Repinskiy S. V., Gomenyuk M. V. Modernization of the stand design for testing high pressure hoses. Proceedings of the XLVI Scientific and Technical Conference of VNTU, Vinnytsia, March 22-24, 2017 [In Ukrainian].

15. Nazarenko, S. Yu., Chernobay, G. O., Larin, O. O., Kalinovsky, A. Ya., Nazarenko, V. Yu. (2019). Design and experimental evaluation of the reliability of rubber-cord delivery hoses. A monograph, 136 p. [In Ukrainian].
16. Prisyajnyuk L. A. (1998). To develop the State Standard of Ukraine project Fire technics. Fire-fighting delivery hoses. General Specifications. Report (Final) of UkrNDIPB, 209 p. [In Ukrainian].
17. Lyashchuk R.G. Operation and repair of fire hoses / Lyashchuk R.G. M. : 1964. 96 p. [In Ukrainian].
18. Pat. EP 2722076 A European Patent Application, IPC A62C 35/20. Fire hose / Martin, Aubrey Brendan: Angus Fire Armour Limited. - № EP20120188679, appl. 16.10.2012; Pub. Date: 23.04.2014 [In English].
19. Pat. US 5593527 USA, IPC B29C47/02. Double jacketed fire hose and a method for making a double jacketed fire hose / Schomaker J.B., Kirjk M., Ruff-corn D.A.: Snap-Tite, Inc. - № US08/440,683, appl. 15.05.1995; Pub. Date: 14.01.1997 [In English].
20. Nguyen Van Thu. (1984). Improving the operation of fire delivery hoses in the SRV: author. dis. for the degree of Cand. tech. Sciences: 05.26.01. M. 12 p. [In Russian].
21. Elfimova M. V., Arkhipov G. F. (2011). Actual problems of maintenance of fire hoses. *Problems of risk management in the technosphere*. 3 (19), 35-40 [In Russian].
22. Elfimova M.V. (2010). Service fire hoses. *Bulletin of the East Siberian Institute of the Ministry of Internal Affairs of Russia*, 3 (54), P. 55-61 [In Russian].
23. Yakovenko Yu. F. (2007). Fire-technical weapons in fire trucks: frequency of use and placement principles, 3, P. 14-18 [In Russian].
24. State Standard of Republic of Belarus (project) Fire fighting equipment. Fire-fighting delivery hoses. General technical requirements. Test methods. Minsk, National Technical Committee for Standardization. 20 [In Russian].
25. National standard of Germany DIN EN ISO 1402:1996-09 (ISO 1402:1994) (1996) Rubber and plastics hoses and hose assemblies – Hydrostatic testing. Berlin, German Institute for Standardization Publ., 7. (In English).
26. American National Standard NFPA 1961:2013 (2013) Standard on Fire Hose. Quincy, Massachusetts, National Fire Protection Association Publ., 23. [In English].
27. Technical Committee on Fire Hose First Draft Meeting (NFPA 1961), Atlanta, GA 30313, 2015.
28. State Standard of Ukraine 3931-99 (1999) Fire engineering. Fire-absorbing and pressure-suction hoses. General specifications and test methods. Kiev, State Committee for Technical Regulation and Consumer Policy Publ. 20. (In Ukrainian).
29. National standard of Great Britain BS EN 1947:2002 (2002) Fire-fighting hoses - Semi-rigid delivery hoses and hose assemblies for pumps and vehicles. London, British Standards Institution Publ., 38. (In English).
30. BS EN 694:2001 (2004) Fire-fighting hoses - Semi-rigid hoses for fixed systems. London, British Standards Institution Publ., 26. (In English).
31. Prisyajnyuk V.V., Semychayevsky S.V., Yakimenko M.L., Osadchuk M.V., Svirsky V.V., Milutin O.V. (2020). On the experimental rationale of quality indicators of fire-fighting layflat delivery hoses for fire-rescue equipment. Municipal economy of cities. About improvement of the regulatory base for technical requirements and test methods for fire-fighting delivery hoses. Municipal economy of cities, 156, 217-221 [In Ukrainian].

ANALYSIS OF EUROPEAN APPROACHES TO TECHNICAL REQUIREMENTS AND TESTING METHODS OF FIRE-FIGHTING LAYFLAT DELIVERY HOSES FOR FIRE AND RESCUE VEHICLES

*V. Prisyajnyuk, S. Semychayevsky, M. Yakimenko, M. Osadchuk,
Institute of Public Administration and Research in Civil Protection, Ukraine*

KEYWORDS

brasion, fire-rescue vehicles,
fire-fighting layflat delivery
hoses, hydraulic bursting
pressure, hydraulic test
pressure, hydraulic working
pressure, technical
requirements, test methods.

ANNOTATION

Among the technical means intended for transportation of fire extinguishing substances to the fire center, the main role is definitely played by delivery fire hoses. At present, the Civil Protection Rescue Service units use mainly pressure fire hoses type "T" (for fire-rescue vehicles) with a diameter of 51 mm and 77 mm, the technical condition of which often does not meet the established requirements, which may not withstand the pressure developing pumps, even traditionally used fire-rescue vehicles during firefighting. The use of such hoses in extinguishing real fires can lead to limited opportunities, reduce the effectiveness of operational and tactical actions of the Civil Protection Rescue Service units, as well as expose personnel to danger. The requirements of the State Standard of Ukraine 2273:2006 in Ukraine are outdated and do not meet the practical needs of today. Given the fact that in the leading countries of the world there are new types of fire hoses and technologies for their creation, as well as due to the fact that adopted in Ukraine State Standard of Ukraine EN 15889: 2017 does not apply to fire-fighting layflat delivery hoses for fire-rescue vehicles, the issue of developing a national standard for this type of fire hoses is relevant. In addition, the European normative document CEN / TR 16099 states that there is no single standard in the European Union that would establish technical requirements for "fire-fighting layflat delivery attack", ie those used with fire and rescue vehicle pumps. In EU countries, this issue is regulated by separate national standards of member states. Confirmation of this approach is the German national standard DIN 14811-2008 / A1-2012, A2-2014. The urgency of developing a national standard regulating the general technical requirements and test methods for fire-fighting layflat delivery hoses for fire-rescue vehicles is given. The modern approaches of the European Union to the establishment of technical requirements and methods for assessing the quality of such hoses are analyzed. The possibility of applying these approaches at the national level has been identified.

УДК 614.841.3

Олександр Сізіков, канд. техн. наук, ст. наук. співр.,

ORCID iD [0000-0002-7861-3144](https://orcid.org/0000-0002-7861-3144)

Ярослав Балло, канд. техн. наук,

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

Світлана Голікова,

ORCID iD [0000-0002-7793-2901](https://orcid.org/0000-0002-7793-2901)

Олександр Жихарев,

ORCID iD [0000-0003-4323-1880](https://orcid.org/0000-0003-4323-1880)

Інститут державного управління у сфері цивільного захисту,

E-mail: balloy.ua@gmail.com

ВИЗНАЧЕННЯ ПРОЦЕДУРИ ВНУТРІШНЬОГО АУДИТУ З ОЦІНКИ ПРОТИПОЖЕЖНОГО СТАНУ ОБ'ЄКТА ЗАХИСТУ

<https://doi.org/10.33269/nvcz.2020.1.84-93>

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 13.09.2020
Пройшла рецензування: 28.09.2020

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

внутрішній аудит з оцінки протипожежного стану об'єкта захисту, критерії внутрішнього аудиту, докази аудиту, дані аудиту, методи збирання інформації, категорії пріоритетності реагування на недотримання критеріїв аудиту

АНОТАЦІЯ

В роботі проведено дослідження щодо визначення процедури оцінки протипожежного стану об'єктів захисту суб'єктами управління пожежної безпеки цих об'єктів. В результаті досліджень встановлені критерії внутрішнього аудиту з оцінки протипожежного стану об'єкта захисту, методи збирання інформації для отримання доказів аудиту та категорії пріоритетності реагування суб'єктами управління пожежною безпекою на недотримання критеріїв внутрішнього аудиту.

Постановка проблеми. До 2018 року в Україні діяв нормативно-правовий акт [1], згідно вимог якого на об'єктах (підприємствах, установах, організаціях) незалежно від форм власності з кількістю працівників 50 і більше, а на об'єктах з високим ступенем прийнятого ризику – незалежно від кількості працівників повинні створюватися пожежно-технічні комісії (далі – ПТК), які фактично повинні виконувати функції суб'єкта управління пожежною безпекою об'єкта захисту. Метою створення ПТК було попередження виникнення пожеж і посилення протипожежного захисту об'єктів.

Нормативно-правовий акт [1] регламентував основні завдання та напрямки роботи ПТК, склад та порядок роботи ПТК, форми заохочення її членів.

Безумовно, ряд положень цього документу з об'єктивних причин (наприклад, із скасуванням Закону України «Про пожежну безпеку») втратив свою актуальність, але втрата його чинності створила певний вакуум у нормативній базі щодо вимог до управлінської діяльності із забезпечення пожежної безпеки об'єктів, ускладнила управлінську діяльність суб'єктів господарювання щодо забезпечення пожежної безпеки їх об'єктів та обумовила необхідність та актуальність розв'язання цієї проблеми на державному рівні шляхом розробки відповідних національних стандартів [2-4].

Враховуючи те, що технічні протипожежні засоби та заходи функціонують та реалізуються на об'єктах захисту, зокрема, завдяки управлінській

діяльності осіб, які є суб'єктами управління пожежною безпекою об'єкта, розробленим у 2018 році національним стандартом [2] введено поняття «система управління пожежною безпекою об'єкта захисту» та наведено основні вимоги до цієї системи. Це поняття визначається як «сукупність заходів суб'єкта управління пожежною безпекою об'єкта захисту з обстеження, аналізу й оцінки протипожежного стану об'єкта захисту, прийняття, організації та контролю виконання управлінських рішень щодо забезпечення пожежної безпеки об'єкта захисту».

В розвиток національного стандарту [2] у 2019 році авторами даної статті також розроблено національний стандарт України [3], який встановлює, зокрема, поняття «суб'єкт управління пожежною безпекою об'єкта захисту – це: посадові особи органів виконавчої влади, органів місцевого самоврядування відповідальні за пожежну безпеку об'єктів захисту; суб'єкти господарювання (власники чи керівники об'єкта захисту, або орендарі об'єкта захисту згідно із цивільно-правовим договором), а також посадові особи, призначені відповідальними за пожежну безпеку об'єкта захисту». Крім того цей стандарт встановлює вимоги до організаційної структури системи управління пожежною безпекою об'єкта захисту та вимоги до її функціонування.

Для прийняття управлінських рішень із забезпечення пожежної безпеки об'єкта одним з основних етапів функціонування системи управління пожежною безпекою є здійснення суб'єктом управління обстеження, аналізу та оцінки протипожежного стану об'єкта захисту.

Обґрунтування та визначення процедури (алгоритму) проведення суб'єктами управління пожежною безпекою оцінки протипожежного стану об'єкта захисту та впровадження в Україні стандартизованих загальних вимог до цього процесу обумовлює актуальність виконання цих наукових досліджень.

Об'єктом досліджень є процес внутрішнього аудиту з оцінки протипожежного стану об'єкта захисту.

Предметом досліджень є процедура оцінки протипожежного стану об'єкта захисту для визначення наявного рівня ризику виникнення та розвитку пожежі на об'єкті, а також рівня реалізації на об'єкті захисту унормованих вимог пожежної безпеки.

Метою цього дослідження є удосконалення функціонування системи управління пожежною безпекою об'єкта захисту шляхом обґрунтування та визначення процедури проведення, суб'єктом управління пожежною безпекою, внутрішнього аудиту з оцінки протипожежного стану об'єкта захисту.

Виклад основного матеріалу. Для досягнення поставленої мети необхідно розв'язати такі завдання, а саме:

провести аналітичні дослідження статистичних даних про пожежі та їх наслідки на об'єктах для обґрунтування пріоритетності реагування суб'єктом управління пожежною безпекою на недотримання вимог пожежної безпеки в залежності від рівня ризику виникнення та розвитку пожежі на об'єкті та можливості, в результаті цього, травмування або загибелі людей та значних матеріальних збитків;

провести аналітичні дослідження положень та вимог вітчизняних законодавчих, нормативно-правових актів та нормативних документів щодо аудитів систем управління та оцінки протипожежного стану об'єктів захисту;

провести аналітичні дослідження закордонних нормативних документів, інформаційних джерел щодо процедури проведення аудиту з оцінки протипожежного стану об'єкта захисту;

визначити та обґрунтувати основні положення процедури проведення суб'єктами управління пожежною безпекою внутрішнього аудиту з оцінки протипожежного стану об'єкта захисту та розробити проєкт національного стандарту України.

В результаті проведеного аналізу статистичних даних про пожежі та їх наслідки на об'єктах захисту встановлено, що пріоритетність реагування суб'єктом управління пожежною об'єкта на недотримання вимог пожежної безпеки повинна обумовлюватись в першу чергу наступними факторами:

рівнем ймовірності або можливістю виникнення та розвитку на об'єкті пожежі (наприклад, невиконання вимоги щодо дотримання посадовими особами, працівниками та особами, що перебувають на об'єкті встановленого протипожежного режиму або невиконання вимоги що електричні машини, апарати, обладнання, електропроводи та кабелі за виконанням та ступенем захисту повинні відповідати класу зони згідно ПУЕ та мати апаратуру захисту від струменів короткого замикання та інших аварійних режимів);

можливістю загибелі або травмування людей, розповсюдженню вогню та значних матеріальних збитків (наприклад, не виконання вимоги що у приміщенні, яке має один евакуаційний вихід одночасно розміщено 50 осіб та невиконання вимоги, що вогнегасники повинні бути встановлені в легкодоступних місцях, а також у пожежонебезпечних місцях, де найбільш вірогідна поява осередків пожежі).

У вересні 2018 року була прийнята постанова Кабінету Міністрів України [5] про затвердження критеріїв, за якими оцінюється ступень ризику від провадження господарської діяльності та визначається періодичність здійснення планових заходів державного нагляду (контролю) у сфері техногенної та пожежної безпеки Державною службою України з надзвичайних ситуацій.

Державними органами нагляду (контролю) встановлено, що згідно цієї постанови Кабінету Міністрів України [5] в Україні, станом на 2020 рік, є 123173 об'єкта з високим ступенем ризику, 39153 об'єкта з середнім ступенем ризику та 503478 об'єктів з незначним ступенем ризику.

Слід зазначити, що органи державного нагляду (контролю) у сфері

пожежної безпеки планові (позапланові) заходи державного нагляду (контролю) щодо дотримання суб'єктом господарювання вимог законодавства у сфері пожежної безпеки (аудити третьою стороною) проводять згідно вимог [6], а оцінку (експертизу) протипожежного стану об'єктів з високим ступенем ризику від провадження господарської діяльності, згідно [5], здійснюють суб'єкти господарювання, що мають відповідну ліцензію (аудити третьою стороною). Всю оцінку вони повинні здійснювати згідно з загальними вимогами національних стандартів [7, 8] гармонізованих з міжнародними стандартами.

Як зазначено вище оцінку (експертизу) протипожежного стану об'єктів з високим ступенем ризику від провадження господарської діяльності (123173 об'єкта), згідно [5], здійснюють суб'єкти господарювання, які мають відповідну ліцензію.

Таким чином, проведення внутрішнього аудиту («аудити першою стороною») з оцінки протипожежного стану можуть проводити (без обов'язкового залучення спеціалізованих суб'єктів господарювання, які мають відповідну ліцензію) суб'єкти управління пожежною безпекою на 542631 об'єктах (загальна кількість об'єктів з середнім та незначним ступенем ризику від провадження господарської діяльності).

Національний стандарт [7] гармонізований зі ступенем відповідності IDT з міжнародним стандартом регламентує загальні вимоги щодо здійснення аудитів систем управління у різноманітних сферах діяльності (наприклад, аудитів систем управління якістю продукції, систем управління охороною праці систем управління екологічною безпекою тощо).

Цей стандарт є підґрунтям для розробки національного стандарту у сфері пожежної безпеки, який встановлює загальні положення щодо проведення суб'єктами управління пожежною безпекою внутрішнього аудиту з оцінки протипожежного стану об'єкта захисту,

тобто аудиту «першою стороною» згідно термінології стандарту [7].

У зв'язку з відсутністю в національній нормативній базі встановлених термінів та визначень основних понять щодо процесу проведення, суб'єктом управління пожежною безпекою, внутрішнього аудиту з оцінки протипожежного стану об'єкта виникла потреба в вирішенні цієї задачі.

Базуючись на положеннях стандарту [7] в результаті проведених досліджень вперше установлені наступні терміни та визначення основних понять у сфері пожежної безпеки:

«внутрішній аудит з оцінки протипожежного стану об'єкта захисту» - систематичний, незалежний та задокументований процес отримання суб'єктом управління пожежною безпекою об'єкта захисту доказів аудиту та даних аудиту шляхом об'єктивного оцінювання дотримувannya на об'єкті захисту критеріїв аудиту;

«критерії внутрішнього аудиту протипожежного стану об'єкта захисту» – сукупність вимог пожежної безпеки до об'єкта захисту, яку використовують як еталон, з яким порівнюють докази аудиту;

«доказ аудиту» – задокументовані виклади даних щодо протипожежного стану об'єкта захисту, що стосуються критеріїв аудиту і можуть бути перевірені;

«дані аудиту з оцінки протипожежного стану об'єкта захисту» – результати оцінювання зібраних доказів аудиту за критеріями внутрішнього аудиту протипожежного стану об'єкта захисту, тобто визначення відповідності стану об'єкта захисту (приміщень, будівель, споруд та їх територій, технологічних процесів виробництва тощо) вимогам чинних нормативно-правових актів з питань пожежної безпеки.

Згідно стандарту [9] поняття «протипожежний стан об'єкта» визначається, як стан об'єкта, який характеризується рівнем реалізації на об'єкті вимог законодавства у сфері пожежної безпеки, а також рівнем готовності до дій за призначенням та

укомплектованості пожежено-рятувальних підрозділів.

При проведенні аналізу положень та вимог законодавчих, нормативно-правових актів та нормативних документів [2, 3, 5 - 7] встановлено, що при проведенні внутрішнього аудиту необхідно розробити програму аудиту, яка має містити: мету аудиту; графік аудиту; критерії аудиту; методи аудиту; необхідні ресурси аудиту.

Обсяг програми аудиту може змінюватись залежно від розміру та характеру діяльності об'єкта.

Особа, яка керує програмою аудиту, має забезпечити формування протоколів, щоб задокументувати виконання програми аудиту. При проведенні внутрішнього аудиту передбачаються наступні методи збирання інформації: опитування, спостереження, критичне аналізування документів.

Звіт про внутрішній аудит має бути повний, точний та стислий, а також містити мету аудиту; дати і місце проведення аудиту, критерії аудиту, дані аудиту та відповідні докази, висновок аудиту. Аудит вважають завершеним, якщо виконано всі роботи за програмою аудиту.

В результаті проведених аналітичних досліджень опрацьовано та визначено процедуру проведення внутрішнього аудиту з оцінки протипожежного стану об'єкта захисту, яка наведена на рис. 1.

При проведенні аналізу положень закордонних нормативних документів [10, 11] встановлено, що в них започатковані категорії пріоритетності реагування на недотримання критеріїв аудиту з оцінки протипожежного стану об'єкта захисту. При цьому передбачені наступні пріоритети реагування власником об'єкта на недотримання критеріїв аудиту з оцінки протипожежного стану об'єкта захисту:

високий – усунення невиконання вимоги пожежної безпеки є пріоритетним та потребує як найшвидшого реагування (усунення упродовж 7 днів);

середній – усунення невиконання вимоги пожежної безпеки є важливим, але

не першочерговим (усунення упродовж 28 днів);

помірний – усунення невиконання вимоги пожежної безпеки може бути вирішено в перспективі діяльності об'єкта, проте потребує постійного моніторингу (усунення в перспективі).

Встановлено, що пріоритетність заходів щодо забезпечення пожежної

безпеки є ключовим фактом раціонального використання суб'єктами управління пожежною безпекою об'єкта матеріальних та фінансових ресурсів та часу.



Рисунок 1 – Процедура здійснення внутрішнього аудиту з оцінки протипожежного стану об'єкта захисту.

На підставі проведених досліджень з використанням методу експертних оцінок в проєкті національного стандарту вперше в національній нормативно-технічній базі запроваджено чотири категорії пріоритетності реагування, суб'єктом управління пожежною безпекою об'єкта, на недотримання на об'єкті критеріїв

внутрішнього аудиту з оцінки протипожежного стану об'єкта, а саме:

I категорія – виконується першочергово. Невиконання вимог пожежної безпеки, які передбачені критерієм внутрішнього аудиту безпосередньо обумовлює можливість виникнення пожежі на об'єкті захисту.

Протипожежний захід щодо усунення порушення вимог пожежної безпеки, передбачений відповідним управлінським рішенням суб'єкта управління пожежною безпекою об'єкта не потребує суттєвих фінансових витрат.

При цьому під поняттям «не потребує суттєвих фінансових витрат» розуміються такі фінансові витрати, які суб'єкт господарювання, для усунення виявлених порушень вимог пожежної безпеки, спроможний здійснити одразу після завершення внутрішнього аудиту з оцінки протипожежного стану об'єкта, з урахуванням можливостей бюджету об'єкта захисту.

II категорія – виконується першочергово. Невиконання вимог пожежної безпеки, передбачених критерієм внутрішнього аудиту при виникненні пожежі на об'єкті захисту може привести до загибелі або травмування людей, тварин, розповсюдження вогню та значних матеріальних збитків.

Протипожежний захід щодо усунення порушень вимог пожежної безпеки, передбачений відповідним управлінським рішенням, не потребує суттєвих фінансових витрат.

III категорія – виконується у встановлені терміни, передбачені при складанні перспективних або поточних планів діяльності із забезпечення пожежної безпеки об'єкта захисту.

Протипожежний захід щодо усунення порушень вимог пожежної безпеки – потребує суттєвих фінансових витрат.

IV категорія – виконується у встановлені терміни, передбачені при складанні поточних планів діяльності із забезпечення пожежної безпеки об'єкта.

Протипожежний захід щодо усунення порушень вимог пожежної безпеки – не потребує суттєвих фінансових витрат.

Висновки внутрішнього аудиту повинні містити підсумкову оцінку протипожежного стану об'єкта захисту.

Якщо докази аудиту в повному обсязі відповідають критеріям внутрішнього аудиту, то протипожежний стан об'єкта захисту вважається **ЗАДОВІЛЬНИМ**.

Якщо докази аудиту не відповідають критеріям внутрішнього аудиту, а категорія пріоритетності реагування суб'єктом управління пожежною безпекою на недотримання цих критеріїв – III або IV, то протипожежний стан об'єкта захисту вважається **НЕЗАДОВІЛЬНИМ**.

Якщо докази аудиту не відповідають критеріям внутрішнього аудиту, а категорія пріоритетності реагування суб'єктом управління пожежною безпекою на недотримання цих критеріїв – I (не виконання вимог пожежної безпеки, які передбачені критеріями внутрішнього аудиту безпосередньо обумовлює можливість виникнення пожежі на об'єкті), або II (невиконання вимог пожежної безпеки передбачених критерієм внутрішнього аудиту може привести при виникненні пожежі до загибелі або травмування людей, тварин, розповсюдження пожежі та значних матеріальних збитків), то протипожежний стан об'єкта захисту вважається **ОСОБЛИВО НЕЗАДОВІЛЬНИМ**.

Висновки. За результатами проведених досліджень сформульовані такі науково-практичні результати та висновки:

За результатами аналізу вимог нормативно-правових актів, нормативних документів, інформаційних джерел встановлено, що аудит з оцінки протипожежного стану об'єкта захисту є основою функціонування системи управління пожежною безпекою об'єкта.

Встановлено, що при проведенні внутрішнього аудиту з оцінки протипожежного стану об'єкта захисту суб'єктом управління пожежною безпекою цього об'єкта доцільно застосовувати не кількісну, а якісну оцінку шляхом визначення рівня реалізації на об'єкті захисту вимог законодавства у сфері пожежної безпеки та стану готовності до

дій за призначенням та укомплектованості пожежно-рятувальних підрозділів місцевої, відомчої, добровільної пожежної охорони.

В результаті проведених досліджень вперше встановлено ряд термінів та визначень понять стосовно процесу внутрішнього аудиту з оцінки протипожежного стану об'єкта захисту, а саме: «внутрішній аудит з оцінки протипожежного стану об'єкта захисту», «критерії внутрішнього аудиту протипожежного стану об'єкта захисту», «доказ аудиту», «дані аудиту з оцінки протипожежного стану об'єкта захисту».

Вперше в національній нормативно-технічній базі визначені категорії реагування, суб'єктами управління пожежною безпекою, на недотримання на об'єкті критеріїв внутрішнього аудиту протипожежного стану об'єкта (недотримання відповідних унормованих вимог пожежної безпеки).

Критерії внутрішнього аудиту з оцінки протипожежного стану об'єкта захисту різного функціонального призначення повинні базуватися на вимогах національних нормативно-правових актів та нормативних документів у сфері пожежної безпеки, зокрема, на [12] та нормативних документів, які встановлюють вимоги щодо стану готовності до дій за призначенням та укомплектованості пожежно-рятувальних підрозділів місцевої, відомчої та добровільної пожежної охорони [13-16].

Дані внутрішнього аудиту з оцінки протипожежного стану об'єкта захисту згідно вимог національного стандарту [3], є підґрунтям для розробки суб'єктом управління пожежною безпекою об'єкта відповідних управлінських коригувальних, запобіжних або поліпшувальних заходів щодо удосконалення системи управління пожежною безпекою об'єкта захисту.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. НАПБ Б.02.003-2004. Типове положення про пожежно-технічну комісію : наказ МНС України "Про затвердження Типового положення про пожежно-технічну комісію" від 11.02.2004 р. № 70 // «Законодавство України» / ВР України. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0222-04> (дата звернення 20.10.2020).
2. ДСТУ 8828:2019. Пожежна безпека. Загальні положення. [Чинний від 01.01.2020 р.] Київ: ДП УкрНДНЦ, 2020. 87 с.
3. ДСТУ 8965:2019. Система управління пожежною безпекою об'єктів захисту. Загальні положення. [Чинний від 01.01.2021 р.] Київ: ДП УкрНДНЦ, 2021. 31 с.
4. Пр.ДСТУ XXXX:202X. Система управління пожежною безпекою об'єкта захисту. Внутрішній аудит з оцінки протипожежного стану. Загальні положення.
5. Кодекс цивільного захисту України від 02 жовтня 2012 р. № 5403-VI (Відомості Верховної Ради України (ВВР), 2013 р., № 34-35, ст. 458).
6. Про затвердження уніфікованої форми акта, складеного за результатами проведення планового (позапланового) заходу державного нагляду (контролю) щодо дотримання суб'єктом господарювання вимог законодавства у сфері техногенної та пожежної безпеки, та інших форм розпорядчих документів : наказ МВС України від 17 січня 2019 р. № 22 // «Законодавство України» / ВР України URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0073-19#Text> (дата звернення 20.10.2020).
7. ДСТУ ISO 19011:2019 (ISO 19011:2018, IDT). Настанови щодо проведення аудитів систем управління. [Чинний від 01.01.2021 р.] Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2016. 40 с.
8. ДСТУ EN ISO/IEC 17020:2019 (EN ISO/IEC 17020:2012, IDT; ISO/IEC 17020:2012, IDT). Оцінка відповідності. Вимоги до роботи різних типів органів з інспектування [Не діючий, вступає в дію з 2021]. Київ, 2019 / Он-лайн буд стандарт. URL : http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=89192 (дата звернення 20.10.2020).

9. ДСТУ 2272:2006. Пожежна безпека. Терміни та визначення основних понять. [Чинний від 01.01.2007 р.] Київ: Держспоживстандарт України, 2007 р. 32 с.
10. Fire Safety Management. British Safety Council 2017. Audit specification 2017. URL : <https://www.britsafe.org/media/3754/ma178-fire-safety-audit-spec-v3.pdf> (дата звернення 20.10.2020).
11. BS 9999:2017. Fire safety in the design, management and use of buildings - code of practice. URL : <https://www.thenbs.com/PublicationIndex/documents/details?Pub=BSI&DocID=316664> (дата звернення 20.10.2020).
12. Про затвердження Правил пожежної безпеки в Україні: наказ МВС України від 30.12.2014 №1417 // «Законодавство України» / ВР України URL : Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15#Text> (дата звернення 20.10.2020).
13. Про затвердження Статуту дій органів управління та підрозділів Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту під час гасіння пожеж : наказ МВС України від 26 квітня 2018 р. № 340: // «Законодавство України» / ВР України URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0802-18> (дата звернення 20.10.2020).
14. ДСТУ 8767:2018. Пожежно-рятувальні частини. Вимоги до дислокації та району виїзду, комплектування пожежними автомобілями та проектування. [Чинний від 01.01.2019 р.]. Київ: ДП «УкрНДНЦ», 2019. 39 с.
15. Про затвердження Правил безпеки праці в органах і підрозділах МНС : Наказ Міністерства внутрішніх справ України від 07.05.2007 № 312 / ДСНС України. URL : <https://www.dsns.gov.ua/ua/Departament-reaguvannya-na-nadzvichayni-situaciyi-docs.html> (дата звернення 20.10.2020).
16. Про затвердження Порядку функціонування добровільної пожежної охорони : постанова Кабінету Міністрів України від 17.07.2013 № 564 // Законодавство України / ВР України. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/564-2013-%D0%BF#Text> (дата звернення 20.10.2020).

REFERENCES

1. NAPB B.02.003-2004. Typove polozhennia pro pozhezhno-tekhnicnu komisiuu : nakaz MNS Ukrainy "Pro zatverdzhennia Typovoho polozhennia pro pozhezhno-tekhnicnu komisiuu" vid 11.02.2004 r. № 70 // «Zakonodavstvo Ukrainy» / VR Ukrainy. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0222-04> (data zvernennia 20.10.2020) [In Ukrainian].
2. DSTU 8828:2019 Pozhezhna bezpeka. Zahalni polozhennia. [Chynnyi vid 01.01.2020 p.] Kyiv: DP UkrNDNTs, 2020. 87 s. [In Ukrainian].
3. DSTU 8965:2019 Systema upravlinnia pozhezhnoiu bezpekoiu ob'ektiv zakhystu. Zahalni polozhennia. [Chynnyi vid 01.01.2021 p.] Kyiv: DP UkrNDNTs, 2021. 31 s. [In Ukrainian].
4. pr.DSTU KhKhKhKh:202Kh «Systema upravlinnia pozhezhnoiu bezpekoiu ob'ekta zakhystu. Vnutrishnii audyt z otsinky protypozhezhnoho stanu. Zahalni polozhennia». [In Ukrainian].
5. Kodeks tsyvilnoho zakhystu Ukrainy vid 02 zhovtnia 2012 r. № 5403-VI (Vidomosti Verkhovnoi Rady Ukrainy (VVR), 2013 r., № 34-35, st. 458). [In Ukrainian].
6. Pro zatverdzhennia unifikovanoi formy akta, skladenoho za rezultatamy provedennia planovoho (pozaplanovoho) zakhodu derzhavnogo nahliadu (kontroliu) shchodo dotrymannia subiekтом hospodariuvannia vymoh zakonodavstva u sferi tekhnohennoi ta pozhezhnoi bezpeky, ta inshykh form rozporiadchykh dokumentiv : nakaz MVS Ukrainy vid 17 sichnia 2019 r. № 22 // «Zakonodavstvo Ukrainy» / VR Ukrainy URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0073-19#Text> (data zvernennia 20.10.2020) [In Ukrainian].
7. DSTU ISO 19011:2019 (ISO 19011:2018, IDT) Nastanovy shchodo provedennia audytiv system upravlinnia. [Chynnyi vid 01.01.2021 r.] Kyiv: DP «UkrNDNTs», 2016. 40 s. [In Ukrainian].
8. DSTU EN ISO/IEC 17020:2019 (EN ISO/IEC 17020:2012, IDT; ISO/IEC 17020:2012, IDT) Otsinka vidpovidnosti. Vymohy do roboty riznykh typiv orhaniv z inspektuvannia [Ne diiuchy, vstupaie v diiu z 2021]. Kyiv, 2019 / On-lain bud standart. URL :

- http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=89192 (data zvernennia 20.10.2020) [In Ukrainian].
9. DSTU 2272:2006 Pozhezhna bezpeka. Terminy ta vyznachennia osnovnykh poniat. [Chynnyi vid 01.01.2007 r.] Kyiv: Derzhspozhyvstandart Ukrainy, 2007 r. 32 s. [In Ukrainian].
 10. Fire Safety Management. British Safety Council 2017. Audit specification 2017. URL : <https://www.britsafe.org/media/3754/ma178-fire-safety-audit-spec-v3.pdf>.
 11. BS 9999:2017 Fire safety in the design, management and use of buildings – code of practice. URL : <https://www.thenbs.com/PublicationIndex/documents/details?Pub=BSI&DocID=316664>.
 12. Pro zatverdzhennia Pravyl pozhezhnoi bezpeky v Ukraini: nakaz MVS Ukrainy vid 30.12.2014 №1417 // «Zakonodavstvo Ukrainy» / VR Ukrainy URL : Rezhyim dostupu: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0252-15#Text> (data zvernennia 20.10.2020) [In Ukrainian].
 13. Pro zatverdzhennia Statutu dii orhaniv upravlinnia ta pidrozdiliv Operatyvno-riatuvalnoi sluzhby tsyvilnoho zakhystu pid chas hasinnia pozhezh : nakaz MVS Ukrainy vid 26 kvitnia 2018 r. № 340: // «Zakonodavstvo Ukrainy» / VR Ukrainy URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0802-18> [In Ukrainian].
 14. DSTU 8767:2018 Pozhezhno-riatuvalni chastyny. Vymohy do dyslokatsii ta raionu vyizdu, kompletuvannia pozhezhnymy avtomobilyamy ta proektuvannia. [Chynnyi vid 01.01.2019 r.]. Kyiv: DP «UkrNDNTs», 2019. 39 s. [In Ukrainian].
 15. Pro zatverdzhennia Pravyl bezpeky pratsi v orhanakh i pidrozdilakh MNS : Nakaz Ministerstva vnutrishnikh sprav Ukrainy vid 07.05.2007 № 312 / DSNS Ukrainy. URL : <https://www.dsns.gov.ua/ua/Departament-reaguvannya-na-nadzvichayni-situaciyi-docs.html> (data zvernennia 20.10.2020) [In Ukrainian].
 16. Pro zatverdzhennia Poriadku funktsionuvannia dobrovilnoi pozhezhnoi okhorony : postanova Kabinetu Ministriv Ukrainy vid 17.07.2013 № 564 // Zakonodavstvo Ukrainy / VR Ukrainy. URL : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/564-2013-%D0%BF#Text> (data zvernennia 20.10.2020) [In Ukrainian].

DETERMINATION OF THE PROCEDURE OF CONDUCTING AN INTERNAL AUDIT FOR ASSESSMENT OF THE FIRE CONDITION OF THE PROTECTION OBJECT

*O. Sizikov, Cand. Sc. (Eng.) SRF; Ya. Ballo, Cand. Sc. (Eng.); S. Holikova, O. Zpykhariev
Institute of Public Administration and Research in Civil Protection, Ukraine*

KEYWORDS

internal audit to assess the fire safety of the protection object, internal audit criteria, audit evidence, audit data, methods of collecting information, priority categories of response to non-compliance with audit criteria

ANNOTATION

In this work conducted a study on the definition on determining the procedure for assessing the fire safety of objects for protection by the subjects of fire safety management of these objects. Domestic and foreign experience in the effective implementation of managerial influence through management decisions of the subjects of management of the object of protection, which allows to implement organizational and technical requirements for fire prevention and fire protection systems at facilities of different functional purposes. The scheme of the organizational structure of the fire safety management system of the object of protection and the scheme of functioning of the fire safety management system, as well as the stages of their functioning have been developed. The imperfection of the existing approaches to the existing organizational measures to ensure fire safety at the object of protection is shown. It was established to meet the requirements of international standards for a number of new terms and definitions that interpret and specify certain provisions of the relevant procedures for internal audit. Substantiated general provisions of the internal audit to assess the fire safety of the object of protection are intended for the development of the subject of fire safety management of the object of protection of relevant management decisions, planning financial costs for their implementation and priority of their implementation. work is aimed at improving the national regulatory framework in the field of fire safety by scientifically substantiating the general provisions of the national standard of Ukraine . As a result of the conducted researches the criteria of internal audit on an estimation of a fire-prevention condition of object of protection are established audit evidence (compliance with the criteria) and priority categories for responding to non-compliance with internal audit criteria have been identified.

УДК 614.841

Тарас Скоробагатко,
ORCID iD [0000-0001-5651-1975](https://orcid.org/0000-0001-5651-1975)
Олександр Добростан, канд. техн. наук,
ORCID iD [0000-0001-8908-0729](https://orcid.org/0000-0001-8908-0729)
Сергій Новак, канд. техн. наук,
старш. наук. співроб.,
ORCID iD [0000-0001-7087-318X](https://orcid.org/0000-0001-7087-318X)
Інститут державного управління та
наукових досліджень з цивільного
захисту,
E-mail: tarasskorobagatko@gmail.com

АНАЛІЗ ЄВРОПЕЙСЬКИХ МЕТОДІВ ОЦІНЮВАННЯ СТІЙКОСТІ ЗБІРНИХ СИСТЕМ ФАСАДНОЇ ТЕПЛОІЗОЛЯЦІЇ ДО ПОШИРЕННЯ ВОГНЮ

<https://doi.org/10.33269/nvcz.2020.1.94-106>

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 30.09.2020
Пройшла рецензування: 20.10.2020

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

випробувальний стенд,
збірна система, метод
випробування, пожежа,
поширення вогню, стандарт,
фасадна теплоізоляція.

АНОТАЦІЯ

Проаналізовано європейські підходи до оцінювання пожежонебезпеки збірних систем фасадної теплоізоляції. Встановлено, що в європейських країнах прийнято низку національних нормативних документів, які в основному встановлюють вимоги щодо класів за «реакцією на вогонь» до їх складових елементів, а ряд європейських країн мають також додаткові вимоги, які стосуються характеристик щодо стійкості збірних систем фасадної теплоізоляції до поширення вогню поверхнею. Виявлено, що для оцінювання цієї характеристики застосовується дванадцять методів випробувань. Розглянуто конфігурації випробувальних стендів, характеристики, що фіксуються під час випробувань тощо, та наголошено про наміри Європейського Союзу розробити єдиний метод випробувань стійкості збірних систем фасадної теплоізоляції до поширення вогню для країн-членів.

У сучасних умовах господарювання, акцентованих до соціальних, економічних та екологічних аспектів, проблема забезпечення пожежної безпеки не втрачає своєї актуальності. Статистика пожеж в різних країнах свідчить, що стан із пожежами та наслідками від них залишається вкрай складним. Так, щороку в середньому в Україні в будівлях і спорудах різного функціонального призначення виникає близько 45 % пожеж від їх загальної кількості (у абсолютних значеннях це понад 30 тис. пожеж), унаслідок яких гине 95 % людей (у абсолютних значеннях це понад 1,8 тис. людських життів). Матеріальні втрати, завдані цими пожежами, визначаються сотнями мільйонів гривень [1]. На ряду з низкою питань щодо забезпечення пожежної безпеки об'єктів

різного функціонального призначення, одним із актуальних серед них, є безпечне улаштування збірних систем фасадної теплоізоляції будинків та споруд з метою обмеження поширення вогню по їх поверхні.

Для оцінювання стійкості цих систем до поширення вогню на національних рівнях застосовують нормативні документи, які встановлюють відповідні методи випробування. У цих методах мають місце відмінності в процедурах, які використовують під час цього оцінювання. Зокрема, це стосується конструктивних характеристик зразків для випробування, параметрів вогневого впливу, критеріїв оцінювання отриманих результатів. Такі відмінності можуть призводити до отримання результатів оцінювання, які

відрізняються між собою. Тому, актуальним слід вважати дослідження, спрямовані на удосконалення і розвиток методів оцінювання стійкості збірних систем фасадної теплоізоляції до поширення вогню, зокрема в частині підвищення достовірності отриманих результатів.

Аналіз літературних даних та постановка проблеми. Облаштування конструкцій зовнішніх стін будівель та споруд збірними системами фасадної теплоізоляції є досить поширеним будівельним рішенням. Роботи з утеплення можуть виконуватися як під час нового будівництва, так і під час реконструкції або капітального ремонту вже існуючих будівель. Сучасні теплоізоляційні матеріали, окрім зовнішніх, внутрішніх та підвальних стін, також застосовуються для утеплення покриттів, перекриттів та підлог. Ці матеріали за своїми характеристиками можуть бути як негорючими так і горючими, а отже проблеми пов'язані із забезпеченням їх пожежної безпеки потребують належної уваги і вивчення для зменшення ризику виникнення пожеж та їх негативних наслідків. До того ж, випадки резонансних пожеж з інтенсивним поширенням вогню фасадами будівель, що виникали останніми роками у світі, вказують на їх особливу пожежонебезпеку, яка безпосередньо пов'язана з конструктивними особливостями будівель, видом теплоізоляційного матеріалу, який використовується та параметрами самої пожежі.

Світова статистика свідчить, що у різних країнах світу пожежі у будівлях, облаштованих збірними системами фасадної теплоізоляції, також мають місце. Так, наприклад, за даними Державної пожежної служби Польщі [2], впродовж 4-х років в країні зафіксовано 117 випадків пожеж на фасадах будівель, утеплених пінополістиролом. У 67 % таких пожеж виникали труднощі під час евакуації та рятування людей, а зовнішнє облицювання сприяло поширенню вогню з одного поверху на інший, а у 13 % випадків вогонь поширився зі зовнішніх стін на покрівлю. У

США, відповідно до [3], пожежі “зовнішніх стін” будівель та споруд складають від 1,3 % до 3 % від кількості пожеж у обраних типах об'єктів. Американські фахівці зазначають, що такі пожежі мають низьку частоту виникнення, проте пов'язані з ними наслідки, з точки зору поширення пожежі, травм і загибелі людей, можуть бути значними.

На теперішній час в Європейському Союзі не запроваджено єдиного стандарту, який би встановлював метод оцінювання стійкості збірних систем фасадної теплоізоляції до поширення вогню. У багатьох країнах з цього питання розроблено окремі національні документи (стандарти, методики тощо). Зокрема, в Україні здатність поширювати вогонь по зовнішній поверхні здійснюють згідно з «Методикою натурних вогневих випробувань теплоізоляційно-оздоблювальних систем зовнішніх стін будинків і споруд на поширення вогню УкрНДПБ МНС України» [4]. Сутність цієї методики полягає у визначенні розмірів пошкодження і значення підвищення температури у фасадній системі, що нанесена на фрагмент двоповерхового будинку, на першому поверсі якого (у вогневій камері) протягом 30 хв створюється температурний режим, наближений до стандартного за ДСТУ Б В.1.1-4* [5]. Слід також зазначити, що окрім згаданої методики, в Україні методи великомасштабних і середньомасштабних вогневих випробувань фасадів також наведені в національних стандартах ДСТУ Б В.1.1-21 [6] та ДСТУ Б В.1.1-22 [7], які згармонізовані з відповідними міжнародними стандартами з національними відхиленнями, і чинні з 2009 року. Але протягом 10 останніх років, методи випробувань, що наведені в цих двох стандартах, не знайшли практичної реалізації в Україні.

Порівняльний аналіз методики [4] з підходами, застосованими в європейських країнах [8], вказує на певну відповідність зазначеної методики до європейських методів. Однак, у методиці не в повній мірі обґрунтовано деякі параметри вогневого впливу, умови проведення випробування, критерії прийняття рішення тощо. Тому є

підстави вважати, що недостатня визначеність процедур оцінювання стійкості збірних систем фасадної теплоізоляції до поширення вогню у національному нормативному документі обумовлює проведення досліджень у цьому напрямку.

Вирішенню проблемних питань за даним напрямком досліджень присвячено низку наукових публікацій, зокрема це роботи [9-16].

Серед цих робіт, у роботі [9] йдеться про особливості американського підходу до проведення випробувань на поширення вогню зовнішніх стінових вузлів, що містять горючі компоненти, і який наведений у NFPA 285 [10].

У роботі [11] йдеться про дослідження румунських вчених пов'язаних із випробуваннями систем фасадної ізоляції типу "ETICS". Авторами роботи наголошується на важливості проведення саме натурних вогневих випробувань, як таких, що забезпечують достатню достовірність результатів. Ці дослідження спрямовані на підтримку розроблення єдиного європейського підходу оцінювання систем фасадної ізоляції типу "ETICS".

У роботі [12] японськими дослідниками розкривається питання особливостей поширення вогню фасадами будівель на верхні поверхи та сусідні будівлі, враховуючи при цьому щільну забудову житлових масивів Японії. Авторами представлені результати експериментальних досліджень, отримані в ході проведення натурних випробувань фасадних систем різних типів.

У роботі [13] йдеться про новий метод натурних вогневих випробувань зовнішніх систем облицювання, розроблений румунськими вченими. Запропонований метод є унікальним у Румунії, але він є подібним до методів випробувань деяких країн Європейського Союзу.

У роботі [14] наведено аналіз результатів випробувань систем фасадної ізоляції типу "ETICS" за стандартом Японії JIS A 1310 [15] та запропоновано коригування значень теплового впливу на системи, що піддаються випробувань, в бік зменшення діапазону між мінімальним та

максимальним значеннями теплового впливу.

У роботі [16] йдеться про перегляд технічної інструкції, що встановлює у Франції вимоги пожежної безпеки до фасадів громадських закладів. Також автори публікації приводять результати тестів систем фасадної ізоляції типів "ETICS" та "EPS" із застосуванням методу випробувань, регламентованого відповідним національним стандартом. Наголошується, що всі піддані тестам системи з тонкошаровим та товстошаровим зовнішнім опорядженням пройшли його з позитивним результатом. За результатами досліджень розроблено посібник, що описує можливі будівельні рішення з обмеження поширення вогню зовнішніми поверхнями стін, який є доповненням до вищезгаданої технічної інструкції.

Мета і завдання дослідження. Метою даного дослідження є аналіз принципів і процедур, які встановлені в методах оцінювання стійкості збірних систем фасадної теплоізоляції до поширення вогню, що застосовуються у країнах Європейського Союзу.

Для досягнення цієї мети були поставлено завдання щодо визначення загальних принципів і особливостей зазначених європейських методів, для подальшого встановлення придатності відповідних процедур оцінювання до застосування на національному рівні.

Виклад основного матеріалу. До збірних систем фасадної теплоізоляції зовнішніх стін будинків і споруд в країнах, що входять до асоціації вільної торгівлі, з питань пожежної безпеки встановлено низку національних нормативних документів та/або настанов [8]. Ці нормативні документи в основному встановлюють вимоги до їх складових щодо класів за «реакцією на вогонь» та «вогнестійкістю» [17, 18]. Разом з цим, низка цих країн має додаткові вимоги, на які не поширюється система класифікації за «реакцією на вогонь» та/або «вогнестійкістю». В цих країнах визначено, що потрібно користуватися специфічним методом випробування фасадів на стійкість до поширення вогню. Загалом, у ході

проведення аналітичних досліджень, виявлено 12 таких методів випробування, інформацію щодо яких, наведено у табл. 1. Із зазначених у табл. 1 методів випробувань, чотири визначаються як випробування з помірним тепловим впливом, а решта вісім – як випробування з потужним тепловим впливом. Два з цих

випробувань передбачають сценарій пожежі поза межами будинків (імітується пожежа ззовні), у той час як решта методів випробування передбачають сценарій пожежі усередині будинку, коли вплив на фасад вогнем відбувається крізь проріз (віконний, дверний тощо).

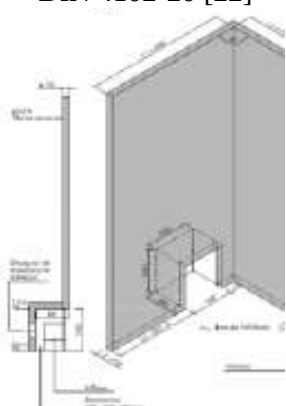
Таблиця 1 – Перелік нормативних документів, що встановлюють в європейських країнах методи випробувань стійкості збірних систем фасадної теплоізоляції до поширення вогню

Нормативний документ на метод випробування	Країни, які користуються методом випробування
PN-B-02867 [19]	Польща
BS 8414-1 та BS 8414-2 [20, 21]	Великобританія, Республіка Ірландія
DIN 4102-20 [22]	Швейцарія, Німеччина
ÖNORM B 3800-5 [23]	Швейцарія, Австрія
Prüfbestimmung für aussenwandbekleidungssysteme [24]	Швейцарія, Ліхтенштейн
Technical regulation A 2.2.1.5 [25]	Німеччина
LEPIR 2 [26]	Франція
MCZ 14800-6 [27]	Угорщина
SP Fire 105 [28]	Швеція, Норвегія, Данія
Engineering guidance 16 (неофіційний метод) [29]	Фінляндія
ISO 13785-2 [30]	Словаччина
ISO 13785-1 [31]	Чеська Республіка

У поданій нижче табл. 2 узагальнено інформацію щодо масштабів цих методів,

чотири з яких є середньомасштабними, а решта вісім – великомасштабними, та конфігурації випробувальних стендів.

Таблиця 2 – Інформація про методи випробувань стійкості збірних систем фасадної теплоізоляції до поширення вогню, що застосовуються в європейських країнах

Інформація про метод випробування (країна, що застосовує метод, нормативний документ на метод випробування, конфігурація випробувального стенда та масштаб випробувань)	
Німеччина, Швейцарія DIN 4102-20 [22]  Внутрішній стіновий кут, проріз для модельного вогнища (середньомасштабне випробування)	Об'єднане Королівство (Англія, Шотландія, Уельс та Північна Ірландія), Республіка Ірландія BS 8414-1 [20], BS 8414-2 [21]  Внутрішній стіновий кут, проріз для модельного вогнища (великомасштабне випробування)

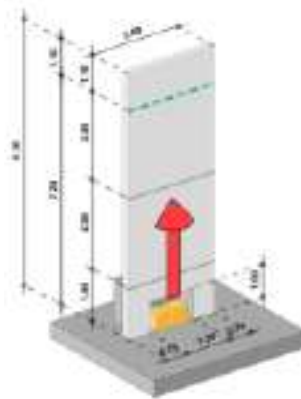
Продовження табл. 2

Польша
PN-B-02867 [19]



Одна вертикальна стіна без прорізів
(середньомасштабне випробування)

Швейцарія
Prüfbestimmung für aus-
senwandbekleidungssysteme [24]



Одна вертикальна стіна, проріз для модельного
вогнища (великомасштабне випробування)

Франція
LEPIR 2 [26]



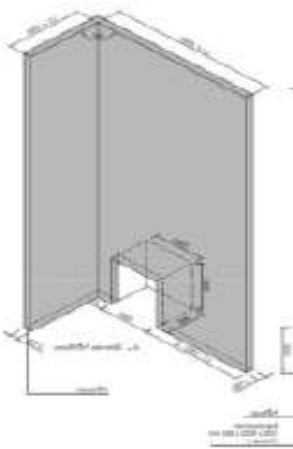
Одна вертикальна стіна, чотири віконні прорізи
(великомасштабне випробування)

Угорщина
МСЗ 14800-6 [27]



Одна вертикальна стіна, два віконні прорізи
(великомасштабне випробування)

Австрія, Швейцарія
ÖNORM B 3800-5 [23]

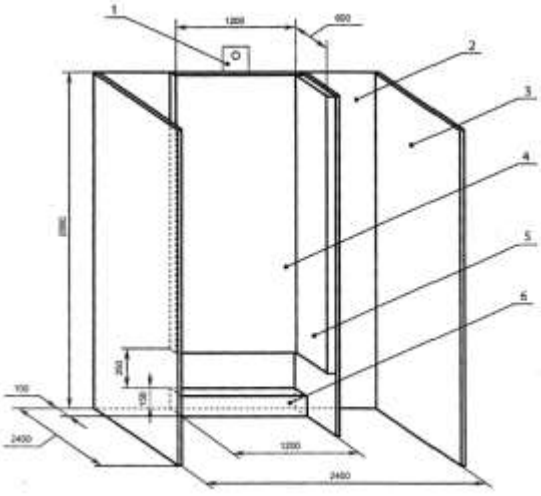


Внутрішній стіновий кут, проріз для модельного
вогнища (середньомасштабне випробування)

Швеція, Норвегія, Данія
SP Fire 105 [28]



Одна вертикальна стіна, проріз для модельного
вогнища (великомасштабне випробування)

Чеська Республіка ISO 13785-1 [31]  Два внутрішні стінові кути, проріз для модельного вогнища (середньомасштабне випробування)	Словацька Республіка ISO 13785-2 [30]  Внутрішній стіновий кут, проріз для модельного вогнища (великомасштабне випробування)
Німеччина Technical regulation A 2.2.1.5 [25]  Внутрішній стіновий кут (великомасштабне випробування)	Фінляндія Engineering guidance 16 [29]  Одна вертикальна стіна (великомасштабне випробування)

Предметами та явищами, які фіксуються та беруться до уваги під час випробувань представленими у табл. 2, є: здатність поширювання вогню у вертикальній і горизонтальній площині поверхнею та всередині збірної системи фасадної теплоізоляції; здатність поширювання пожежі з одного приміщення в інше (розташоване вище); стики системи з перекриттями; вікна; елементи огороження віконних прорізів; наявність тління матеріалів; наявність фрагментів матеріалів системи, що падають; наявність диму; тепловий потік; незворотні зміни в системі.

Середньомасштабні методи випробування, що встановлені (DIN 4102-20 [22], ÖNORM B 3800-5 [23] та ISO 13785-1 [31]) є схожими, й ґрунтуються на сценарії пожежі, що розвивається всередині будинку, а також впливові вогню, що проникає крізь проріз, на фасад безпосередньо над прорізом. Четверте середньомасштабне випробування згідно PN-B-02867 [19], яким користуються в Польщі, передбачає пожежу поза межами будинку. Інші вісім методів випробувань, є великомасштабними, які передбачають пожежу у стані повного розвитку

всередині будинку з проникненням вогню крізь проріз.

Крім того, шість методів випробування передбачають використання випробувального стенда, до складу якого входить одна стіна, інші шість - передбачають його кутову конфігурацію, причому один з них – наявність двох стінових конструкцій.

За даними таблиці 2 можна зазначити, що основними відмінностями між наведеними методами випробувань стійкості збірних систем фасадної теплоізоляції до поширення вогню, що застосовуються в європейських країнах, є:

- масштаб випробувань (середньомасштабні та великомасштабні);
- конструкція опорної стіни (з внутрішнім прямим кутом або пласкою стіною);
- наявність прорізів у конструкції опорної стіни;
- сценарій пожежі (місце розташування модельного вогнища) та її потужність.

Слід також зазначити, що деякі країни застосовують однакові випробувальні стенди, але результати випробувань оцінюються за різними критеріями. Так, у Швейцарії та Ліхтенштейні встановлено вимоги щодо порядку визначення можливості використання результатів випробування у разі їх проведення згідно з DIN 4102-20 [22] з метою виконання вимог нормативних документів, чинних у Швейцарії. В Австрії також користуються випробувальним стендом згідно з DIN 4102-20 [22], але пожежна навантага і місця вимірювання температури дещо інші. Критерії щодо показників пожежонебезпечності також відрізняються від тих, які встановлено в [22].

Крім того, як DIN 4102-20 [22], так і серія стандартів BS 8414 [20, 21], передбачають конфігурації з боковими стінами. Таку конфігурацію вважають такою, що є більш жорсткішою, ніж конфігурація з однією стіною. Разом з тим, шість національних методів випробування в європейських країнах передбачають конфігурацію саме з однією стіною.

Більшість з розглянутих методів випробувань передбачають використання конфігурацій випробувального стенда, за

яких сценарій пожежі відповідає виходу шлейфу продуктів згоряння крізь проріз у зовнішній поверхні будинку, що піднімається вздовж поверхні фасадної системи на ділянці, яка знаходиться безпосередньо над прорізом.

Окремо слід наголосити на величині теплового впливу на зразок, який залежить від таких чинників як: тип горючих матеріалів; умов тепло-газообміну у камері згоряння, умов в приміщенні споруди для вогневих випробувань; розміщення пожежної навантаги відносно поверхні зразка для випробувань.

Розміри модельних вогнищ пожежі і національні методи випробування суттєво відрізняються, наприклад, використовують дерев'яні штабелі з масою від 20 кг до 650 кг. Разом з тим, температури, що досягаються на різних висотах, а також тепловий потік, що падає на зразки (а також ділянка, на якій досягається певний його рівень) залежать не тільки від розмірів модельного вогнища пожежі, вони значною мірою залежать також від особливостей сценарію пожежі, таких як місце розташування модельного вогнища пожежі, умов вентиляції, та параметрів засобів вимірювальної техніки, використовуваних під час випробування.

Наприклад, згідно із BS 8414-1 та BS 8414-2 [20, 21] значення теплового потоку на висоті 1 м над прорізом для встановлення модельного вогнища пожежі упродовж 20 хв має бути у діапазоні від 45 кВт/м² до 95 кВт/м², а згідно із DIN 4102-20 [22], на аналогічній висоті над прорізом, це значення має складати 35 кВт/м². При цьому, як у першому, так і другому випадках, висота полум'я на прорізом має сягати 2,5 м. Інших даних стосовно теплових впливів на зразок, для методів випробувань фасадів у європейських країнах не знайдено, що унеможливує їх порівняння між собою.

У більшості із розглянутих методів випробувань, у якості горючого матеріалу модельних вогнищ пожежі, використовують деревину хвойних порід (ялина, сосна) вологістю у діапазоні від 9% до 15 %. У інших випадках, теплову навантагу створюють із застосуванням

газових пальників, спалюючи при цьому газ пропан, або металевих дек, наповнених гептаном.

Також, за величиною потужності теплового впливу випробування можна поділити на такі, які проводять у двох режимах, а саме, за помірного вогневого впливу і значного вогневого впливу, які можна позиціонувати як середньомасштабні випробування і великомасштабні випробування. Під час великомасштабних випробувань використовують дерев'яні штабелі, маса деревини яких знаходиться в межах від 400 кг до 650 кг. Під час

середньомасштабних випробувань використовують дерев'яні штабелі, маса деревини яких знаходиться в межах від 20 кг до 50 кг. Окрім різних кількостей горючих матеріалів, змінними величинами є питома поверхня і пористість дерев'яних штабелів, що впливає на перебіг процесу горіння.

Не менш важливим параметром випробування є тривалість його проведення. Цей параметр, серед розглянутих методів випробувань збірних систем фасадної теплоізоляції, також відрізняється (табл. 3).

Таблиця 3 – Тривалість поведення випробувань стійкості збірних систем фасадної теплоізоляції до поширення вогню відповідно до національних нормативних документів європейських країн

Нормативний документ на метод випробування	Вимога щодо тривалості випробування
DIN 4102-20 [22]	Дерев'яний штабель/газовий пальник потрібно вимикати/гасити через 20 хв, після чого спостерігають за зразком не менше ніж 40 хв
Серія BS 8414 [20, 21]	60 хв (30 хв вогневого впливу і 30 хв спостереження після гасіння модельного вогнища пожежі)
PN-B-02867 [19]	Проміжок часу впливу модельного вогнища пожежі 15 хв (після завершення цього проміжку часу модельне вогнище пожежі відводять від зразка), після чого спостерігають за зразком 15 хв (загальна тривалість випробування 30 хв)
Engineering guidance 16 [29]	Тривалість випробування складає 30 хв від моменту запалювання модельного вогнища пожежі. Тривалість горіння складає 15 – 20 хв, тривалість охолодження – приблизно 10 хв
ISO 13785-1 [31]	Тривалість випробування складає 30 хв
ISO 13785-2 [30]	Повний проміжок часу вогневого впливу 15 хв. Упродовж 4-6 хв забезпечується збільшення інтенсивності вогневого впливу, після чого вогневий вплив послаблюють до повного загасання зразка
LEPIR 2 [26]	Перше оцінювання проводять у момент часу 30 хв. Друге оцінювання проводять у момент часу 60 хв
MSZ 14800-6 [27]	Максимальна тривалість випробування складає 45 хв
Prüfbestimmung für Aussenwandbekleidungssysteme [24]	Тривалість випробування складає 40 хв
SP Fire 105 [28]	Тривалість випробування складає 16 – 18 хв
Technical regulation A 2.2.1.5 [25]	Через 25 хв штабель гасять, без завдання пошкоджень зразку, після чого здійснюють спостереження за зразком тривалістю не менше ніж 60 хв
ÖNORM B 3800-5 [23]	Тривалість випробування 30 хв. Якщо через 30 хв горіння фасаду триває, то проводять спостереження за зразком до моменту його зникнення

Аналіз даних табл. 3 свідчить, що тривалість безпосереднього вогневого впливу, залежно від методу, знаходиться в межах від 15 хв до 45 хв. В окремих випробуваннях пожежна навантага може згорати повністю, в інших випадках модельне вогнище пожежі гасять після досягнення заданого проміжку часу. Крім того, окремі методи передбачають процес спостереження за зразком, що піддавався випробуванню, після гасіння модельного вогнища пожежі. Ймовірно тривалість вогневого впливу пов'язана із часом

досягнення модельним вогнищем пожежі масштабів повністю розвинутої пожежі (II фаза).

В Україні, згідно із методикою [4], тривалість випробування складає 30 хв, що обґрунтовується виходячи із максимального значення нормованої межі вогнестійкості для зовнішніх ненесучих стін, яке наведено в ДБН В.1.1-7 [32]. У цих будівельних нормах наведено, що для будинків I, III і IIIб ступенів вогнестійкості межа вогнестійкості зовнішніх ненесучих стін має бути не менше ніж 30 хв, а для будинків інших ступенів

вогнестійкості – не менше ніж 15 хв. Тобто, проводити випробування тривалістю понад 30 хв, коли у реальній ситуації відбувається руйнування міжкімнатних перегородок (для переважної більшості багатоквартирних житлових будинків) і пожежа набуває значних розмірів, є недоцільним.

Далі подано основні результати аналізування узагальненої інформації щодо обов'язкових характеристик, які фіксуються під час випробувань стійкості збірних систем фасадної теплоізоляції до поширення вогню та наразі застосовуються у європейських країнах. Всього у розглянутих 12 методах випробувань виявлено 9 характеристик, що фіксуються, а саме це: поширення вогню у вертикальному напрямку; поширення вогню в горизонтальному напрямку; поширення вогню всередині; стан стику перекриття і фасаду; наявність тління; наявність уламків, що падають; виділення диму; параметри теплового впливу; стан елементів (вікна у прорізах, вогнезахисне заповнення).

Слід відмітити, що для всіх 12 методів випробувань основними характеристиками, що визначаються під час проведення випробувань, є здатність збірної системи фасадної теплоізоляції поширювати вогонь у вертикальному напрямку та усередині себе. 7 з 12 методів передбачають врахування здатності системи поширювати вогонь у горизонтальному напрямку. Ще однією з важливих характеристик, що фіксується, є наявність уламків, які падають. Цю характеристику, хоча і за різними методами та критеріями, але фіксують у 9 методах з 12. Серед найменш враховуваних характеристик відмічається тління фасадної системи, виділення диму, стан стику перекриття і фасаду, стан вогнезахисного заповнення віконних прорізів, величина теплового впливу у приміщенні над вогневою камерою або на карнизі вікна, розташованого поверхом вище.

На кінець слід наголосити, що для країн Європейського Союзу, відповідно до даних [8], найближчим часом планується розроблення єдиного методу випробувань стійкості збірних систем фасадної теплоізоляції до поширення вогню, який би враховував національні особливості підходів до таких випробувань країн-членів. Також у

Європейському Союзі планується запровадити відповідну схему класифікації, яка б враховувала й результати раніше проведених випробувань за національними стандартами.

Висновки. Встановлено, що в країнах Європейського Союзу застосовується 12 методів щодо визначення додаткових характеристик фасадних систем, на які не поширюється класифікація за «реакцією на вогонь». Ці методи регламентовані національними стандартами або настановами щодо показників пожежонебезпечності фасадів. Із зазначених методів 4 позиціонуються як з помірним тепловим впливом (середньомасштабні випробування), решта 8 – з потужним тепловим впливом (великомасштабні випробування). Крім того, 2 методи передбачають сценарій пожежі поза межами будинку (тобто імітується пожежа ззовні), решта 10 методів випробування передбачають сценарій пожежі усередині будинку, коли вплив на фасад вогнем відбувається крізь проріз (віконний, дверний тощо). Для реалізації великомасштабних випробувань у 6 методах передбачають використання випробувального стенда, до складу якого входить одна стіна, у інших 6 методах – його кутову конфігурацію (внутрішній кут утворений двома стінами).

За результатами проведених аналітичних досліджень узагальнено значний обсяг інформації по застосуванню методів випробувань фасадних систем по 31 країні, зокрема щодо конфігурацій випробувальних стендів та їх розмірів, параметрів вогневого впливу, горючих матеріалів, що застосовуються для його створення, розмірів і умов вентиляції камери згоряння, критеріїв характеристик, які фіксуються у процесі випробувань, тривалості випробування, пропонованої схеми класифікації фасадних систем та граничних значень величин за результатами натурних вогневих випробувань.

У подальших дослідженнях за даним напрямком досліджень, актуальності набуває питання проведення порівняльного аналізу підходів до випробувань пожежонебезпечності, в тому числі стійкості збірних систем фасадної теплоізоляції до

поширення вогню, в європейських країнах, останнього як базового під час розроблення та в Україні за методом [4], з метою відповідного проекту національного можливості прийнятності застосування стандарту України.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Борис О.П., Климась Р.В. Чи готові вітчизняні вогнеборці до пожеж у висотних будівлях? Пожежна та техногенна безпека. Київ: № 4 (67), 2019. С. 26-28.
2. World Fire Statistics. *Report № 25*. URL : https://www.ctif.org/sites/default/files/news_files/2020-06/CTIF_Report25.pdf.
3. Fire hazards of External wall assemblies Containing Combustible Components Final Report Prepared by: Nathan White CSIRO Highett, VIC, Australia Michael Delichatsios FireSert, University of Ulster Jordanstown, Northern Ireland Fire Protection Research Foundation. One batterymarch park quincy, massachusetts, u.s.a. 02169-7471. URL : <https://nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports/Building-and-life-safety/BulletinFireHazardsofExteriorWallAssembliesContainingCombustibleComponents.ashx> (дата звернення 20.10.2020).
4. Методика натурних вогневих випробувань теплоізоляційно-оздоблювальних систем зовнішніх стін будинків і споруд на поширення вогню. К.: УкрНДІПБ МНС України, 1999, 2010. 18 с.
5. ДСТУ Б В.1.1-4-98* Захист від пожежі. Будівельні конструкції Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги. [Чинний від 1999-03-01]. К.: Державний комітет будівництва, 1998. 47 с.
6. ДСТУ Б В.1.1-21-2009 Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Метод великомасштабних вогневих випробувань (ISO 13785-2:2002, MOD). [Чинний від 2009-08-01]. К.: Мінрегіонбуд України, 2009. 24 с.
7. ДСТУ Б В.1.1-22-2009 Конструкції зовнішніх стін із фасадною теплоізоляцією. Метод середньомасштабних вогневих випробувань (ISO 13785-1:2002, MOD). [Чинний від 2009-08-01]. К.: Мінрегіонбуд України, 2009. 15 с.
8. Development of a European approach to assess the fire performance of facades: Lars Boström, Anja Hofmann-Böllinghaus, Sarah Colwell, Roman Chiva, Péter Tóth, Istvan Moder, Johan Sjöström, Johan Anderson, David Lange. European Commission B-1049 Brussels. June 2018. doi:10.2873/954759.
9. Façade requirements in the 2021 edition of the US International Building Code. URL : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/fam.2803>.
10. NFPA 285 Standard Fire Test Method for Evaluation of Fire Propagation Characteristics of Exterior Wall Assemblies Containing Combustible Components. NFPA, 2019. 28 p.
11. Simion, A., Anghel, I., Dragne, H., Stoica, D. (2019). Contributions on the fire performance assessment of ETICS systems. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 572, Issue 1, 2 August 2019, Article number 012112. URL : <https://doi:10.1088/1757-899X/572/1/012112>.
12. Nishio, Y., Yoshioka, H., Noguchi, T., Kanematsu, M., Ando, T., Hase, Y., Hayakawa, T. (2016). Fire Spread Caused by Combustible Facades in Japan. *Fire Technology*. Volume 52, Issue 4, 1 July 2016, Pages 1081-1106. URL : <https://doi:10.1007/s10694-015-0535-5>.
13. Simion, A., Dragne, H (2017). Testing Method for External Cladding Systems - Incerc Romania. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* Volume 209, Issue 1, 27 June 2017, Article number 012102. URL : <https://doi:10.1088/1757-899X/209/1/012102>.
14. Zhou, B., Yoshioka, H., Noguchi, T., Wang, K. (2020). Experimental study on vertical temperature profile of EPS external thermal insulation composite systems masonry façade fire according to JIS A 1310 method. *Fire and Materials*. 2020. <https://doi:10.1002/fam.2880>.
15. JIS A 1310:2015 Test method for fire propagation over building facades. JSA, 2015. 18 p.

16. Fire behaviour of EPS ETICS on concrete or masonry facades. *MATEC Web of Conferences*. Volume 46, 4 May 2016, Article number 05010. URL : <https://doi:10.1051/mateconf/20164605010>.
17. EN 13501-1:2018. Fire classification of construction products and building elements. Part 1: Classification using data from reaction to fire tests. Brussels: European Committee for Standardization, 2018. 58 p.
18. EN 13501-2:2016. Fire classification of construction products and building elements. Part 2: Classification using data from fire resistance tests, excluding ventilation services. Brussels: European Committee for Standardization, 2016. 84 p.
19. PN-B-02867:2013. Ochrona przeciwpożarowa budynków. Metoda badania stopnia rozprzestrzeniania ognia przez ściany zewnętrzne od strony zewnętrznej oraz zasady klasyfikacji. PKN, 2013. 20 s.
20. BS 8414-1:2015. Fire performance of external cladding systems. Test method for non-loadbearing external cladding systems applied to the masonry face of a building. BSI, 2015. 20 p.
21. BS 8414-2:2015. Fire performance of external cladding systems. Test method for non-loadbearing external cladding systems fixed to and supported by a structural steel frame. BSI, 2015. 22 p.
22. DIN 4102-20:2017. Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen. Teil 20: Ergänztender Nachweis für die Beurteilung des Brandverhaltens von Außenwandbekleidungen. GIS, 2017. 25 h.
23. ÖNORM B 3800-5:2013. Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen. Teil 5: Brandverhalten von Fassaden - Anforderungen, Prüfungen und Beurteilungen. Austrian Standards plus, 2013. 14 s.
24. Prüfbestimmung für Aussenwandbekleidungssysteme. VKF/AEAI/AICAA, 2015. 11 s.
25. Technical regulation A 2.2.1.5. Germany, 2015.
26. LEPiR 2-2010 Facade fire propagation test. France, 2010.
27. MCZ 14800-6:2009 Tűzállósági vizsgálatok. 6. rész: Tűzterjedés vizsgálata épülethomlokaton. MTS, 2009. 9 o.
28. SP Fire 105 External wall assemblies and facade claddings. Reaction to fire. SP Technical Research Institute of Sweden, 1994. 16 p.
29. Engineering guidance 16. Finland.
30. ISO 13785-2:2002. Reaction-to-fire tests for façades. Part 2: Large-scale test. Geneva: International Organization for Standardization, 2002. 16 p.
31. ISO 13785-1:2002 Reaction-to-fire tests for façades. Part 1: Intermediate-scale test. Geneva: International Organization for Standardization, 2002. 10 p.
32. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Вид. офіц. Київ: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житлово-комунального господарства України. 2016. 39 с.

REFERENCES

1. Borys O.P. Klymas R.V. Are domestic firefighters ready for fires in high-rise buildings? *Fire and man-made safety*. Kiev: № 4 (67), 2019. P. 26-28.
2. World Fire Statistics, Report № 25. URL : https://www.ctif.org/sites/default/files/news_files/2020-06/CTIF_Report25.pdf.
3. Fire hazards of External wall assemblies Containing Combustible Components Final Report Prepared by: Nathan White CSIRO Highett, VIC, Australia Michael Delichatsios FireSert, University of Ulster Jordanstown, Northern Ireland © June 2014 Fire Protection Research Foundation. URL : <https://nfpa.org/-/media/Files/News-and-Research/Fire-statistics-and-reports/Building-and-life-safety/BulletinFireHazardsofExteriorWallAssembliesContainingCombustibleComponents.ashx>
4. Methods of full-scale fire tests of thermal insulation and finishing systems of external walls of buildings and structures for the spread of fire (1999, 2010), Kiev: Ukrainian Research Institute of Fire Safety (in Ukr.).
5. DSTU B V.1.1-4-98*. Fire protection. Building constructions Test methods for fire resistance. general requirements (1998), Kiev: State Construction Committee (in Ukr.).

6. DSTU B V.1.1-21-2009. Constructions of external walls with front thermal insulation. Method of large-scale fire tests (ISO 13785-2:2002, MOD) (2009), Kiev: Minrehionbud (in Ukr.).
7. DSTU B V.1.1-22-2009. Constructions of external walls with front thermal insulation. Method of medium-scale fire tests (ISO 13785-1:2002, MOD) (2009), Kiev: Minrehionbud (in Ukr.).
8. Development of a European approach to assess the fire performance of facades: Lars Boström, Anja Hofmann-Böllinghaus, Sarah Colwell, Roman Chiva, Péter Tóth, Istvan Moder, Johan Sjöström, Johan Anderson, David Lange. European Commission B-1049 Brussels. June 2018. doi:10.2873/954759.
9. Façade requirements in the 2021 edition of the US International Building Code. URL : <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/abs/10.1002/fam.2803>.
10. NFPA 285 Standard Fire Test Method for Evaluation of Fire Propagation Characteristics of Exterior Wall Assemblies Containing Combustible Components. NFPA, 2019. 28 p.
11. Simion, A., Anghel, I., Dragne, H., Stoica, D. (2019). Contributions on the fire performance assessment of ETICS systems. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Volume 572, Issue 1, 2 August 2019, Article number 012112. <https://doi:10.1088/1757-899X/572/1/012112>.
12. Nishio, Y., Yoshioka, H., Noguchi, T., Kanematsu, M., Ando, T., Hase, Y., Hayakawa, T. (2016). Fire Spread Caused by Combustible Facades in Japan. Fire Technology Volume 52, Issue 4, 1 July 2016, Pages 1081-1106. <https://doi:10.1007/s10694-015-0535-5>.
13. Simion, A., Dragne, H (2017). Testing Method for External Cladding Systems - Incerc Romania. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering Volume 209, Issue 1, 27 June 2017, Article number 012102. <https://doi:10.1088/1757-899X/209/1/012102>.
14. Zhou, B., Yoshioka, H., Noguchi, T., Wang, K. (2020). Experimental study on vertical temperature profile of EPS external thermal insulation composite systems masonry façade fire according to JIS A 1310 method. Fire and Materials, 2020. URL : <https://doi:10.1002/fam.2880>.
15. JIS A 1310:2015 Test method for fire propagation over building facades. JSA, 2015. 18 p.
16. Fire behaviour of EPS ETICS on concrete or masonry facades. MATEC Web of Conferences Volume 46, 4 May 2016, Article number 05010. URL : <https://doi:10.1051/mateconf/20164605010>.
17. EN 13501-1:2018. Fire classification of construction products and building elements. Part 1: Classification using data from reaction to fire tests. - Brussels: European Committee for Standardization, 2018. 58 p.
18. EN 13501-2:2016 Fire classification of construction products and building elements. Part 2: Classification using data from fire resistance tests, excluding ventilation services. Brussels: European Committee for Standardization, 2016. 84 p.
19. PN-B-02867:2013 Ochrona przeciwpożarowa budynków. Metoda badania stopnia rozprzestrzeniania ognia przez ściany zewnętrzne od strony zewnętrznej oraz zasady klasyfikacji. PKN, 2013. 20 s.
20. BS 8414-1:2015 Fire performance of external cladding systems. Test method for non-loadbearing external cladding systems applied to the masonry face of a building. BSI, 2015. 20 p.
21. BS 8414-2:2015 Fire performance of external cladding systems. Test method for non-loadbearing external cladding systems fixed to and supported by a structural steel frame. BSI, 2015. 22 p.
22. DIN 4102-20-2017 Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen. Teil 20: Ergänzender Nachweis für die Beurteilung des Brandverhaltens von Außenwandbekleidungen. GIS, 2017. 25 h.
23. ÖNORM B 3800-5:2013. Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen. Teil 5: Brandverhalten von Fassaden. Anforderungen, Prüfungen und Beurteilungen. Austrian Standards plus, 2013. 14 s.
24. Prüfbestimmung für Aussenwandbekleidungssysteme. VKF/AEAI/AICAA, 2015. 11 s.
25. Technical regulation A 2.2.1.5. Germany, 2015.
26. LEPiR 2-2010 Facade fire propagation test. France, 2010.
27. MCZ 14800-6:2009 Tűzállósági vizsgálatok. 6. rész: Tűzterjedés vizsgálata épülethomlokzaton. MTS, 2009. 9 o.
28. SP Fire 105 External wall assemblies and facade claddings. Reaction to fire. - SP Technical Research Institute of Sweden, 1994. 16 p.
29. Engineering guidance 16. Finland.

30. ISO 13785-2:2002 Reaction-to-fire tests for façades - Part 2: Large-scale test. - Geneva: International Organization for Standardization, 2002. 16 p.
31. ISO 13785-1:2002 Reaction-to-fire tests for façades. Part 1: Intermediate-scale test. Geneva: International Organization for Standardization, 2002. 10 p.
32. 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.).

ANALYSIS OF EUROPEAN METHODS FOR ASSESSING THE RESISTANCE OF PREFABRICATED FACADE INSULATION SYSTEMS TO THE FIRE PROPAGATION

*T. Skorobahatko, O. Dobrostan, Cand. of Sc. (Eng.), S. Novak, Cand. of Sc. (Eng.),
Institute of Public Administration and Research in Civil Protection, Ukraine*

KEYWORDS	ANNOTATION
test bench, composite system, test method, fire, fire propagation, standard, facade heat insulation.	European approaches to fire hazard assessment of facade insulation systems were analyzed. It was established that a number of national normative documents have been adopted in European countries, which mainly set requirements for classes in terms of "reaction to fire" to their constituent elements. A number of European countries have additional requirements regarding characteristics of the resistance of composite facade insulation systems to surficial fire propagation. It was revealed that twelve test methods were used to evaluate this characteristic, four of which are defined as tests with moderate thermal influence, but remaining eight ones were determined as tests with severe thermal influence. Two methods assume a fire scenario outdoors, but the other ten test methods assume fire scenarios indoors. Configurations of the test benches were considered; constructions of six of them contain a wall, but six other constructions are structures of an inner corner formed by several walls. Most test bench configurations provide a fire scenario that corresponds to the exit of a fire fumes plume through an opening in the outer surface of the house that rises along the surface of the facade system in the area immediately above the opening. The characteristics recorded during the tests were considered, there are nine of them in total in the twelve methods, the main of which for most test methods are fire propagation in the vertical and horizontal directions as well as its propagation inside. The intentions to develop a single method for testing resistance of composite facade insulation systems to fire propagation for the European Union member states were emphasized. It is concluded that further studies related to the comparative analysis of approaches to fire tests, including the resistance of composite facade insulation systems to fire, in European countries and in Ukraine according to the currently used method in order to allow acceptability of the latter as basic during the development of the relevant draft national standard of Ukraine.

УДК 614.841.123.24

Анна Борисова,

ORCID iD [0000-0002-8700-0761](https://orcid.org/0000-0002-8700-0761)

**Вадим Ніжник, канд. техн. наук,
старш. наук. співроб.,**

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

Дмитро Середа

ORCID iD [0000-0002-9645-5864](https://orcid.org/0000-0002-9645-5864)

*Інститут державного управління
та наукових досліджень з цивільного
захисту, E-mail: borysova_anna@ukr.net*

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ПОВЕРХНЕВОЇ ГУСТИНИ ТЕПЛОВОГО ПОТОКУ В УМОВАХ ВІТРОВОГО ВПЛИВУ

<https://doi.org/10.33269/nvcz.2020.1.107-115>

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 11.10.2020

Пройшла рецензування: 19.10.2020

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

критична поверхнева
густина теплового потоку,
тепловий потік, теплообмін,
променевий теплообмін

АНОТАЦІЯ

В статті наведено результати експериментального дослідження тривалості займання п'ятишарового гофрокартону залежно від поверхневої густини теплового потоку та в умовах вітрового впливу. Досліджено збіжність отриманих експериментальних даних, в кожному із окремих експериментів. Встановлена залежність часу настання передумов для поширення пожежі з урахуванням теплового потоку та тривалості займання від параметрів вітрового впливу та визначена регресія, яка описує таку залежність із відповідними коефіцієнтами.

Постановка проблеми. В процесі розвитку відкритої пожежі променистий тепловий потік від факела полум'я падає на навколишні будівлі чи горючі матеріали. Необхідна і достатня умова загоряння будь-якої поверхні горючого матеріалу виражається співвідношенням $q_p \geq q_{кр}$ (q_p – падаючий потік на поверхню матеріалу, що опромінюється Вт/м²; $q_{кр}$ – критичний тепловий потік, при якому виникає загоряння поверхні даного виду горючого матеріалу, Вт/м²). Однак вплив умов навколишнього середовища, зокрема вітру, на значення критичної поверхневої густини теплового потоку при якому відбувається займання речовин і матеріалів залишаються науково не обґрунтованими. З цієї причини авторами проведено експериментальні дослідження тривалості займання п'ятишарового гофрокартону залежно від поверхневої густини теплового потоку та в умовах вітрового

впливу. Дослідження проводились відповідно до методики описаної в [1].

Аналіз досліджень і публікацій. Відповідно до [2] критична поверхнева густина теплового потоку (далі – $q_{кр}$) величина, що відноситься до параметрів займистості матеріалів та визначається експериментальним методом.

Проаналізовані методи визначення критичної поверхневої густини теплового потоку

[3-5] мають суттєвий недолік, вони не враховують вплив умов середовища, а саме вплив вітру та його характеристики на величину критичного значення поверхневої густини теплового потоку для речовин і матеріалів, що може істотно вплинути на значення променевого теплового потоку та на займистість речовин і матеріалів.

Авторами [6] визначено наявність такого впливу, але не знайдено відповідних залежностей.

У роботі авторів [7] досліджено та визначено, що густина теплового випромінювання різко зменшується у разі збільшення відстані від джерела випромінювання, а також при введенні у простір дрібно розпиленої води. Однак вплив вітру, як умова зміни залежності значення теплового потоку, авторами не досліджувалася.

У працях [8, 9] авторами описується проблема нагріву резервуарів з нафтопродуктами. Акцент приділено в основному розробленню математичних моделей для розрахунку температури нагрівання поверхневого шару нафтопродукту від сусіднього палаючого резервуара під час пожежі в резервуарному парку. Модель створена для розрахунку максимально досяжної температури нафтопродукту і небезпеки займання. В [9] авторами побудована математична модель нагріву резервуара з нафтопродуктами під дією випромінювання від полум'я палаючого сусіднього резервуара. Модель визначає час досягнення вибухонебезпечної температури. Проте дані моделі не враховують дію потоку повітря на резервуар, автори лише згадують його дію, як нездатну до зміни картини величину, виключенням є лише ураганний вітер який може нахилити факел полум'я майже горизонтально. Також в переважній більшості моделі оснований на теорії, в той час коли експериментальні дослідження подібних питань показують істотно інші результати.

Автори [10] запропонували експериментальні методи спрямовані на визначення ефективності загорання матеріалу під дією падаючого теплового потоку, що складався з випробувань, які використовують встановлений конусометричний калориметр для отримання показників запалювання, виділення енергії та маси. Однак описані методи не враховували дію вітрового впливу на досліджуваний зразок.

Виходячи з вищенаведеного можна стверджувати, що встановлення даних та залежності зміни $q_{кр}$ від вітрового впливу є актуальною науковою задачею.

Формулювання цілей дослідження.

Мета роботи: визначити залежність критичної поверхневої густини теплового потоку від вітрового впливу.

Для досягнення поставленої мети потрібно вирішити такі задачі:

провести експериментальні дослідження визначення залежності значення критичної поверхневої густини теплового потоку від вітрового впливу;

оцінити та проаналізувати результати експериментальних досліджень;

обробити результати за статистичними показниками (абсолютні, відносні, середньоквадратичні відхилення, критерій Граббса та Фішера);

виявити залежність $q_{кр}$ від вітрового впливу.

Виклад основного матеріалу. Для отримання даних щодо зміни критичної поверхневої густини теплового потоку від вітрового впливу проведено експериментальні дослідження. Сутність методу експериментальних досліджень полягала у моделюванні джерела теплового випромінювання, визначенні проміжку часу від початку дослідження до настання нормованого для речовин і матеріалів граничного стану за ознакою початку полум'яного горіння під дією на поверхню дослідного зразка променистого теплового потоку та потоку повітря з різною швидкістю. В якості досліджуваного зразка в цьому разі було взято гофрокартон п'ятишаровий у формі квадрату зі стороною розміром (165 ± 5) мм товщиною 6 мм.

Діапазон швидкості вітру в межах $0 \dots 4,5$ м/с для дослідження обрано на основі дослідження статистичних даних Українського гідрометеорологічного центру [11] та кліматичних даних за період з 1899 по 2019 роки, згідно з якими середня швидкість вітру на території України в залежності від регіону коливається в межах $2,5 \dots 4,5$ м/с. [12].

Експериментальне дослідження починалось з вмикання електроживлення та по регулюючому термоелектричному перетворювачу задавалась встановлена при калібруванні величину термоелектрорушійної сили, що відповідає

поверхневій густині теплового потоку (далі – ПГТП) 30 кВт/м² (646±3° С), у цьому заданому режимі установку витримували 5 хвилин. Після чого регулюючи противагу зразок встановлювали під дію радіаційної панелі. У разі спалахування досліджуваного зразка або закінчення часу дослідження (20 хв експериментальне дослідження припинялось. Діапазон впливу ПГТП радіаційної панелі: 5-50 кВт/м². У разі відсутності займання протягом 20 хв, величину ПГТП збільшували на – 5 кВт/м²



та повторювали експериментальне дослідження. У разі наявності займання, значення ПГТП зменшували на – 5 кВт/м² та продовжували дослідження.

Всі зразки досліджувалися на значеннях поки не було визначено критичну поверхневу густину теплового потоку. Далі експеримент повторювався з урахуванням впливу потоку повітря у діапазоні від 0..4,5 м/с, а саме зі швидкістю 1,0 м/с, 1,5 м/с, 3 м/с, 4,5 м/с.

Хід проведення експериментальних досліджень зображено на рис. 1.

Рисунок 1 – Хід проведення експериментального дослідження

За результатами проведення трьох експериментів отримані дані щодо зміни критичної поверхневої густини теплового потоку для різних швидкостей вітру, що наведено на рис. 2.

Результати експериментальних досліджень свідчать, що зі зміною швидкості потоку повітря відбувається зменшення критичної поверхневої густини теплового потоку внаслідок чого займання відбувається пізніше.

Для оцінювання збіжності експерименту визначені абсолютні, відносні, середньоквадратичні відхилення та критерії Граббса та Фішера.

Відповідно до ДСТУ ГОСТ ISO 5725-2 для перевірки результатів випробувань на наявність викидів та квазівикидів застосовують критерій Граббса, що розраховується за формулою:

$$G_{i\max} = \frac{t_{i\max} - \bar{t}_i}{\sigma_i}, (1)$$

де $\bar{t}_i$ і σ_i - відповідно середнє значення та середньоквадратичне відхилення часу займання за дії теплового потоку.

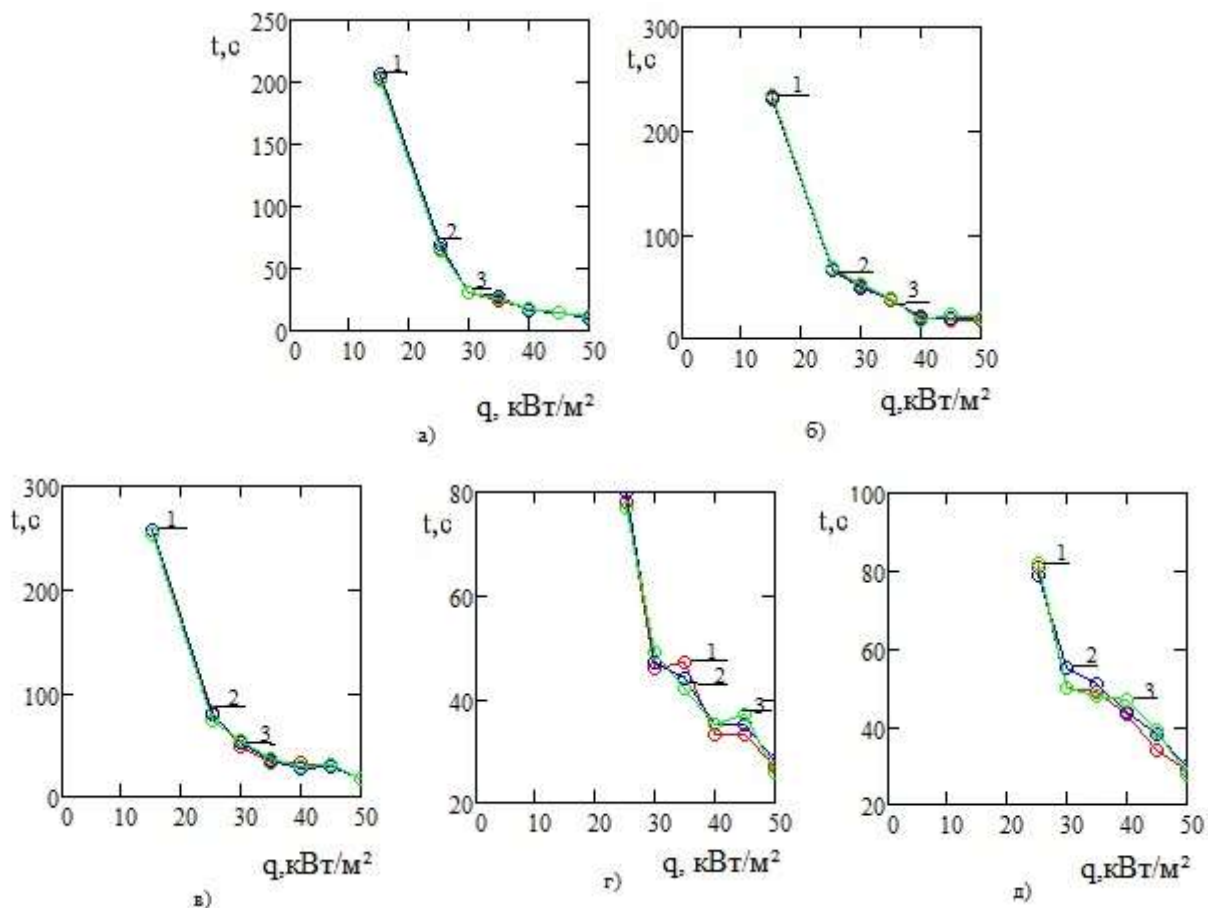


Рисунок 2 – залежність часу настання передумов для поширення пожежі з урахуванням теплового потоку та тривалості займання від параметрів вітрового впливу:

а) без впливу потоку вітру; б) з впливом потоку вітру зі швидкістю 1,0 м/с; в) з впливом потоку вітру зі швидкістю 1,5 м/с; г) з впливом потоку вітру зі швидкістю 3,0 м/с; д) з впливом потоку вітру зі швидкістю 4,5 м/с; 1,2,3- результати окремого експерименту.

Значення критерія Граббса визначали за формулою (2), а середньоквадратичні відхилення розраховували за формулою (3):

$$G_{i\min} = \frac{\bar{t}_i - t_{i\min}}{\sigma_i} \quad (2)$$

$$\sigma = \left(\sum_{i=1}^n \frac{(t_i - \bar{t})^2}{n} \right)^{-0.5} \quad (3)$$

де, n – кількість експериментів (n = 3)

Знайдені значення $G_{\max}$ і $G_{\min}$ порівняли з 5% ($G_{кр5\%}$) та 1% ($G_{кр1\%}$) критичними табличними значеннями [13], що однакові та становлять 1,155.

Таким чином якщо після порівняння $G_{\max}$ і $G_{\min}$ з критичним значенням визначено, що значення коефіцієнтів становлять більше 5%-го значення і менше або дорівнює 1%-му значенню, тоді значення $Q_{\max}$ або $Q_{\min}$ вважали викидами. В тому випадку коли розрахункові значення $G_{\max}$ і $G_{\min}$ були меншими чи дорівнювали табличним значенням критерію Граббса, вважали, що експериментальні дані викидів та квазिवикидів не містять (рис. 3). Експериментальні дані, які відносилися до викидів не враховувалися для подальших досліджень.

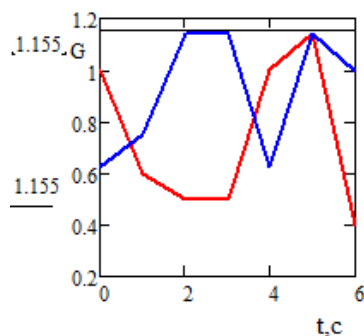


Рисунок 3 – Результати оцінки присутності викидів та квазівикидів в експериментальному дослідженні за критерієм Граббса зі швидкістю вітру 1,0 м/с.

Таблиця 1 – Максимальні абсолютні, відносні та середньоквадратичні відхилення

Швидкість потоку повітря м/с	Абсолютні відхилення, с	Відносні відхилення, %	Середньоквадратичні відхилення, с
0	1.238	3.585	1.358
1,0	1.429	4.635	1.512
1,5	2.19	4.067	2.076
3,0	1.611	3.513	1.529
4,5	1.778	3.728	1.846

Таблиця 2 – Дані щодо оцінки дисперсій результатів експериментальних досліджень до однієї генеральної сукупності за критерієм Фішера

Швидкість потоку повітря м/с	Табличне значення критерію Фішера	Розрахункове значення критерію Фішера
0	6,39	1.609
1,0		1.235
1,5		0.44
3,0		1.738
4,5		1.306

Абсолютні, відносні та середньоквадратичні відхилення результатів експериментальних досліджень від усередненого наведені у табл. 1.

Отримані результати свідчать, що абсолютні відхилення експериментальних даних кожного експерименту від усереднених значень не перевищують 2,19 с, що у відсоткових значеннях становить 4,067%, а максимальне середньоквадратичне відхилення дорівнює 2,076, с що свідчить про задовільну

збіжність отриманих експериментальних даних.

Для оцінювання дисперсій висувають нуль-гіпотезу, тобто припускають, що різниця між дисперсіями результатів випробувань дорівнює нулю і отримані експериментальні дані, є вибірками з генеральної сукупності. При цьому розраховують дисперсії за формулою (4):

$$S = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n_i} (t_i - \bar{t})^2 \quad (4)$$

Результати щодо оцінки дисперсій результатів експериментальних досліджень до однієї генеральної сукупності за критерієм Фішера наведені у табл. 2.

Так як розрахункові значення критерію Фішера менші за табличні, [13], то отримані результати не заперечують нуль-гіпотезі, а їх відмінності можна вважати не суттєвими. Тому можна

вважати дані отримані за результатами експериментальних досліджень вибірками з однієї генеральної сукупності, що доводить загальну збіжність кожного окремого експерименту. Це означає що усереднені дані експериментальних досліджень можуть бути використані для встановлення залежностей критичної поверхневої густини теплового потоку від вітрового впливу, рис. 4.

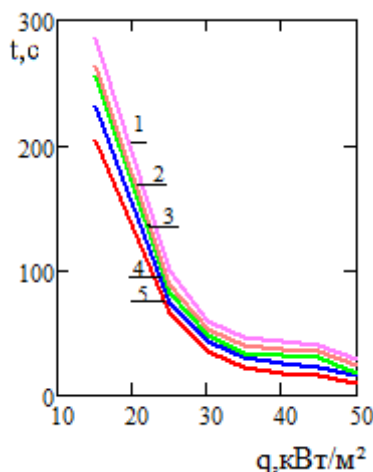


Рисунок 4 – Середні значення залежності часу настання передумов для поширення пожежі з урахуванням теплового потоку та тривалості займання від параметрів вітрового впливу:

Графік 1 – швидкість вітру 4,5 м/с.

Графік 2 – швидкість вітру 3,0 м/с. 3.

Графік 3 – швидкість вітру 1,5 м/с.

Графік 4 – швидкість вітру 1,0 м/с.

Графік 5 – без вітрового впливу.

Таким чином враховуючи вищенаведену інформацію, для подальшої обробки даних застосовували середні значення отримані за даними трьох експериментів для певної швидкості вітру. Результати цих значень наведені в табл. 3.

Таблиця 3 – Результати середніх значень отриманих за даними експериментів

v, м/с	Тепловий потік, q, кВт/м²							
	Час займання, t, с							
	10	15	25	30	35	40	45	50
0	-	200	72	44	24	18	16	10
1	-	204	74	45	30	25	23	16
1,5	-	206	77	47	33	34	33	19
3	-	-	79	50	39	36	34	26
4,5	-	-	82	55	46	43	39	27

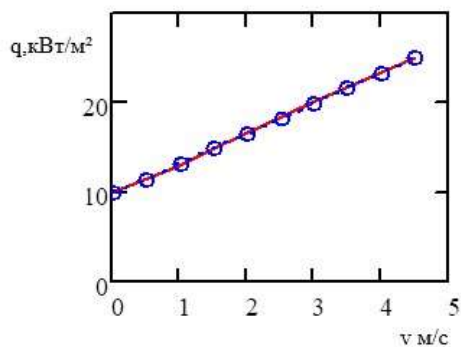


Рисунок 5 – залежність зміни значення критичної поверхневої густини теплового потоку від швидкості вітру, при якому відбувається займання матеріалу,

Використовуючи табличні значення побудовано залежність часу настання передумов для поширення пожежі з урахуванням теплового потоку та тривалості займання від параметрів вітрового впливу рис. 5.

Зазначену залежність можна описати у вигляді рівняння числової регресії (5)

$$f(t) := a_0 + a_1 t \quad (5)$$

де a_0 , a_1 – константи рівняння числової регресії

Константи для $f(t)$ наведено у табл. 4.

Таблиця 4 – Дані констант рівняння числової регресії

a_0	a_1
9,88	3,36t

На рис. 6 зображено залежність між швидкістю вітру, критичної поверхневої

густини теплового потоку та часу впродовж якого відбувається займання матеріалу.

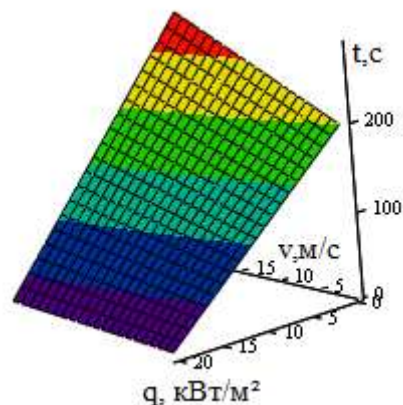


Рисунок 6 – залежність між швидкістю вітру, критичною поверхневою густиною теплового потоку та часом займання матеріалу.

Висновки та перспективи подальших досліджень. Встановлено, що абсолютні відхилення експериментальних даних кожного експерименту від усереднених значень не перевищують 2,19 с, що у відсоткових значеннях становить 4,067%, а максимальне середньоквадратичне відхилення дорівнює 2,076, с що свідчить про задовільну збіжність отриманих експериментальних даних.

Встановлено залежність часу настання передумов для поширення пожежі з урахуванням теплового потоку та тривалості займання від параметрів вітрового впливу, яка може бути описана рівнянням числової регресії $f(t) := a_0 + a_1 t$ із коефіцієнтами 9,88, 3,36t.

Результати отриманих даних доцільно використати під час повного факторного експерименту з метою обґрунтування табличних даних залежності критичної поверхневої густини теплового потоку від швидкості вітру.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Борисова А. С., Ніжник В. В. Методика експериментальних досліджень залежності критичної поверхневої густини теплового потоку від вітрового впливу. *Науково-технічний збірник «Комунальне господарство міст»*. Серія: технічні науки та архітектура. 2020. №2. С. 200–203.
2. ДСТУ Б В.1.1.2-97. Матеріали будівельні, Методи випробувань на займистість [Чинний від 1998-01.-01.]. К., 1997. / Будстандарт. Сервіс документів он-лайн. URL: http://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=40059 (дата звернення 28.10.2020).
3. Пожарная профилактика в строительстве. / Грушевский. Б. В. и др. под ред. В.Ф. Кураленкина. М.: ВИПТШ, 1985. 451 с.
4. Еврокод 1 Воздействия на конструкции Часть 1-2. Общие воздействия. Воздействия для определения огнестойкости. [Eurocode 1. Actions on structures General actions. Actions on structures exposed to fire [Released 2013-02-28]]. Минск, 2010. 42 с. URL: <https://cutt.ly/PgRdcYv> (дата звернення 28.10.2020).
5. ДСТУ Б В.1.1-10:2004. Захист від пожежі. Матеріали будівельні. Метод випробування на поширення полум'я по вертикальних поверхнях у горизонтальному напрямку. [Чинний від 2005-04-01]. К., 2004 / Законодавча база ДНОАП. URL: https://dnaop.com/html/41028/doc-%D0%94%D0%A1%D0%A2%D0%A3%D0%91%D0%92.1.1-10_2004 (дата звернення 28.10.2020).
6. Жартовський С. В., Поздеев С. В., Ніжник В. В. Фещук Ю. Л. Оцінювання небезпеки поширення пожежі на суміжні будівельні об'єкти за критерієм теплового потоку. *International Scientific Journal "Internauka"*. URL: <https://www.inter-nauka.com/uploads/public/15639942773628.pdf> (дата звернення 28.10.2020).
7. Лабай В. Й., Гудим В. І., Гаврилюк А. Ф. Дослідження та шляхи зменшення теплового випромінювання під час пожеж. *Вісник Національного університету "Львівська політехніка". Теорія і практика будівництва*. 2013. № 755. С. 221-226. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/VNULPTPB_2013_755_42.
8. Абрамов Ю.А., Басманов А.Е. Оценка пожарной опасности резервуара с нефтепродуктом при его нагреве от пламени соседнего горящего резервуара. *Радиоэлектроника и информатика*. Харьков: ХНУРЕ, 2005. №2. С. 110-112.
9. Абрамов Ю.А., Басманов А.Е. Тепловые процессы в нагреваемом резервуаре. *Коммунальное хозяйство городов : научно-технический сборник*. Киев: Техника, 2006. Вып. 67. С. 357-362.
10. Panagiotou J., Quintiere J. G. Fire performance as a Function of Incident Heat Flux. *The Fifth Triennial International Fire & Cabin Safety Research Conference*, 31.10 2007. URL: https://fire.tc.faa.gov/2007Conference/files/Fire_Resistant_Materials/WedPM/PanagiotouFireperformance/PanagiotouFireperformancePaper.pdf (дата звернення 28.10.2020).
11. Шкала Бофорта / Вебсайт Українського гідрометеорологічного центру. URL: <https://meteo.ua/ua/vocabulary/shkala-boforta-539> (дата звернення 28.10.2020).
12. Інформаційний сервер погоди Українського гідрометеорологічного центру. URL: https://meteo.gov.ua/ua/33345/climate/climate_stations/ (дата звернення 28.10.2020).
13. Про затвердження Інструкції з проведення міжлабораторних порівняльних випробувань у сфері пожежної безпеки: наказ МНС України від 27.08.2007 р. № 581.

REFERENCES

1. Borysova A S, Nizhnyk V V 2020 Methods of experimental studies of the dependence of the critical surface heat flux density on wind exposure Scientific and technical collection "Municipal utilities". Series: technical sciences and architecture 2 200–203.
2. DSTU B V.1.1.2-97, Building materials, Flammability test methods.
3. Hrushevskiy B V, Yakovklev A I, Krivosheyev I A. and others Edited by Kuralenkin V F 1985 Fire Prevention in Construction M., HEFES, 451
4. Eurocode 1. Actions on structures. Part 1-2. General influences. Actions to determine fire resistance: ТКР EN 1991-1-2-2009. Minsk, 2009 52 p
5. DSTU B V.1.1-10: 2004. Fire protection. Building materials. Test method for flame propagation on

- vertical surfaces in the horizontal direction.
6. Zhartovskyy S.V., Pozdeev, S.V. Nizhnyk VV and. Feshchuk Yu.L Assessment of the risk of fire spreading to adjacent construction sites according to the criterion of heat flow / International Scientific Journal "Internauka" <http://www.inter-nauka.com/>.
 7. Gudym V I, Labay V Y, Gavriluk A F 2013 Research and ways to reduce thermal radiation during fires Bulletin of the National University "Lviv Polytechnic" Theory and practice of construction **755** 221-226
 8. Abramov Yu.A., Basmanov A E 2005 Estimation of fire danger of the tank with oil product at its heating from a flame of the next burning tank Radioelektronika i informatika №2. 110-112
 9. Abramov Yu.A., Basmanov A E 2006 Thermal processes in a heated tank Municipal economy of cities. Scientific and technical collection, Issue 67. 357-362
 10. Panagiotou J., Quintiere J.G. Fire performance as a Function of Incident Heat Flux, The Fifth Triennial International Fire & Cabin Safety Research Conference, 31X 2007;10
 11. Website of the Ukrainian Hydrometeorological Center. URL : <https://meteo.ua/ua/vocabulary/shkala-boforta-539>.
 12. Weather information server of the Ukrainian Hydrometeorological Center URL : https://meteo.gov.ua/ua/33345/climate/climate_stations/
 13. Pro zatverdzhennia Instruksii z provedennia mizhlaboratornykh porivnialnykh vyprobuvan u sferi pozhezhnoi bezpeky: nakaz MNS Ukrainy vid 27.08.2007 r. № 581.

EXPERIMENTAL RESEARCH OF THE SURFACE HEAT FLUX DENSITY AND IN WIND CONDITIONS

*A.Borysova, V. Nizhnyk, Cand. Sc. (Eng.) SRF, D. Sereda,
Institute of Public Administration and Research in Civil Protection, Ukraine*

KEYWORDS

critical surface heat flux density, heat flux, heat transfer, radiant heat transfer.

ANNOTATION

The article presents the results of an experimental research of the duration of ignition of five-layer corrugated cardboard depending on the surface heat flux density and wind conditions. The convergence of the obtained experimental data in each of the individual experiments was investigated. The dependence of the critical surface heat flux density on wind influence is established and the regression is defined, which describes such dependence with the corresponding coefficients. To obtain data on the change in the critical surface heat flux density from wind exposure, experimental studies were performed. The essence of the experimental research method was to model the source of thermal radiation, determine the time interval from the beginning of the research to the onset of normalized for substances and materials limit state on the basis of flame combustion under the action on the surface of the test sample. In this case, a five-layer corrugated cardboard in the shape of a square with a side size (165 ± 5) mm and a thickness of 6 mm was used as a test sample. According to the results of three experiments, data were obtained on the change in the critical surface heat flux density for different wind speeds.

To assess the convergence of the experiment, absolute, relative, standard deviations and Grabbs and Fisher criteria were determined.

The results show that the absolute deviations of the experimental data of each experiment from the average values do not exceed 2.19 s, which is a percentage of 4.067%, and the maximum standard deviation is 2.076 s, which indicates a satisfactory convergence of the obtained experimental data. The results of experimental research show that with a change in air flow rate, the critical surface heat flux density decreases, as a result of which ignition occurs later.

It is expedient to use the results of the obtained data during a full-factor experiment in order to substantiate the tabular data of the dependence of the critical surface heat flux density on the wind speed.

Журнал

Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека

Випуск № 1(9) 2020

Підписано до друку 02.11.2020 р. Формат 60х90/16. Папір офсетний.

Друк офсетний. Гарнітура Times New Roman.

Ум. друк. арк. 8,2. Наклад 50 прим.

Зам. 1

Свідectво про внесення суб'єкта видавничої справи
до Державного реєстру ДК № ____ від _____ р.

Надруковано _____

тел.: _____

e-mail: _____