

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 ЕІ 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 ЄС № 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 обігривається, 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 низькій 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 витoku, 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 E та теплоізолювальної здатності I, 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 E, 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 $140 \text{ }^\circ\text{C}$ над початковою середньою температурою, максимальне підвищення температури в будь-якій точці необігрівної поверхні над початковою середньою температурою не повинно перевищувати $180 \text{ }^\circ\text{C}$.

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.

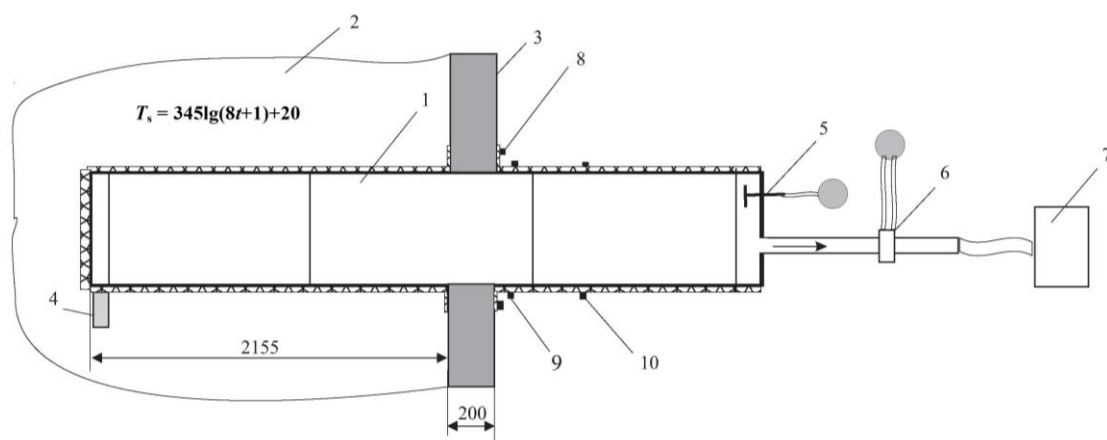
Дослідження проводили з використанням пасивного вогнезахисного матеріалу – склополотна «ИПС-Т-1000» із поверхневою густиною $1000 \pm 200 \text{ г/м}^2$ [24], і двох реактивних вогнезахисних матеріалів на основі термореактивного графіту: «Ендотерм ХТ-150» (на основі органічного розчинника) [25] та «Ендотерм 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 «ИПС-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 – термоміри Т1–Т4; 9 – термоміри Т5–Т8; 10 – термоміри Т9–Т12

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 «ИПС-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. Нахлест 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 виміральної 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 $100 \text{ }^\circ\text{C}$, 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

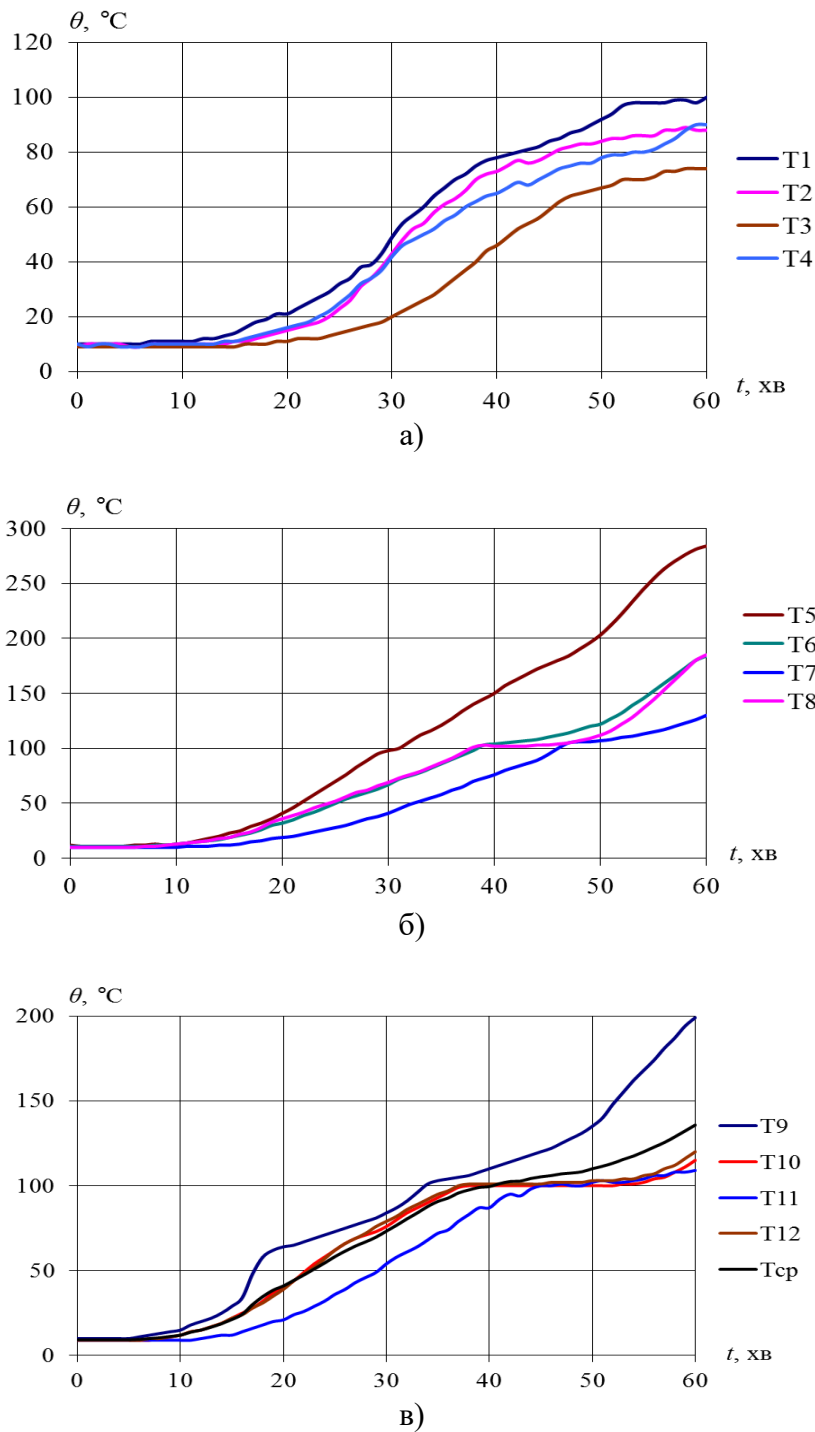


Рисунок 2 – Залежності температури на необігрітій поверхні зразка №1 від тривалості вогневого впливу:
 а – за показами термопар T1 – T4;
 б – за показами термопар T5 – T8;
 в – за показами термопар T9 – T12

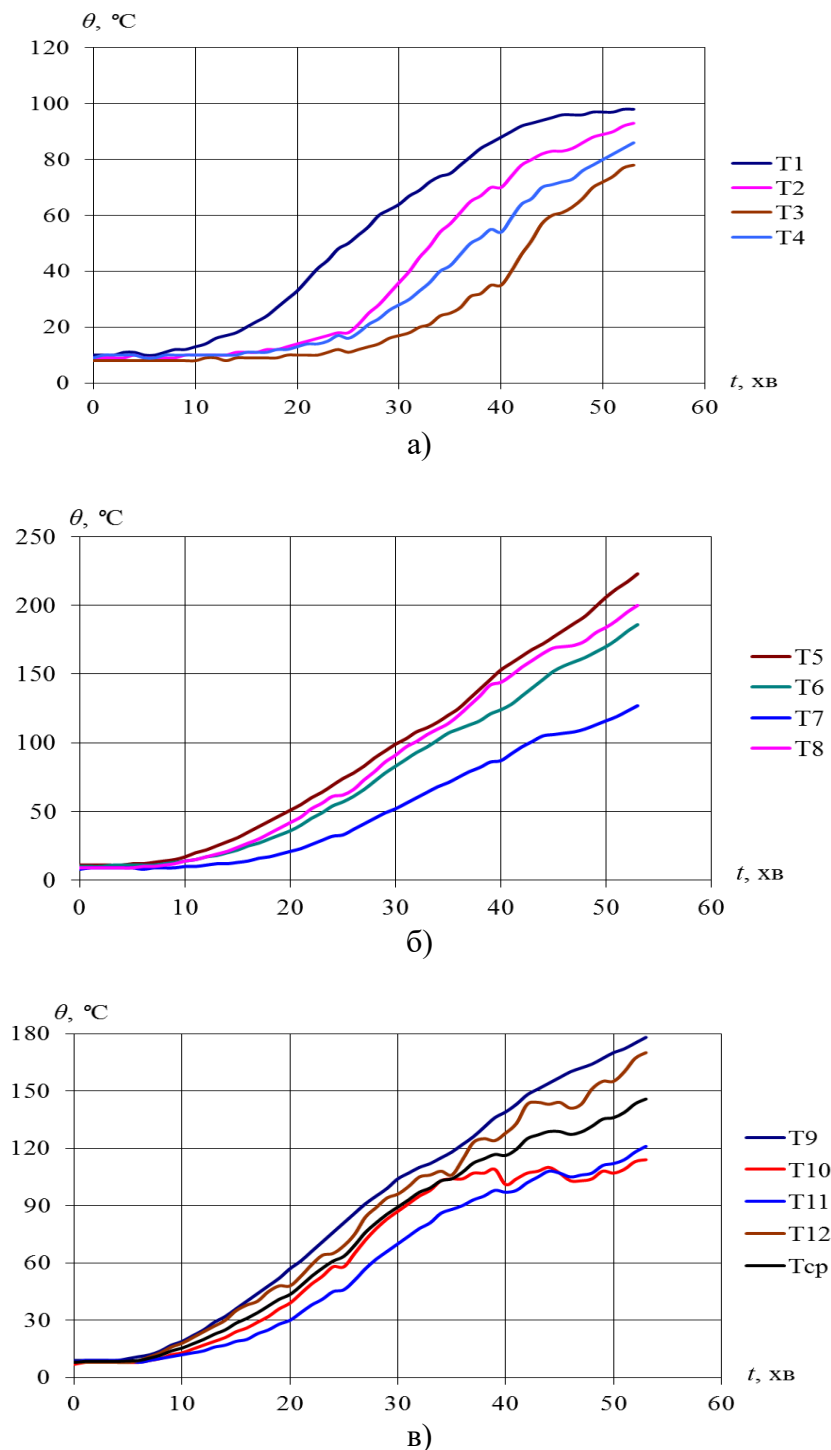


Рисунок 3 – Залежності температури на необігрівній поверхні зразка №2 від тривалості вогневого впливу:

а – за показами термопар Т1 – Т4;

б – за показами термопар Т5 – Т8;

в – за показами термопар Т9 – Т12

термопар Т5, Т9, які розташовано зверху на необігрівній поверхні повітроводу, найменші – за показами термопар Т7, Т11, 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 термопари 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 необігрівній 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 необігрівної поверхні теплопровідністю по стінкам сталевого повітроводу. Закономірним є зниження температури необігрівної поверхні повітроводу зі збільшенням відстані від огорожувальної конструкції. Це пов'язано з конвекційним тепловідводом від необігрівної 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 зугленим 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 необігрівної поверхні зразків теплопровідністю по стінкам сталевого 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 повітроводам 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 сталевого 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 трубопроводу 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. P. 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 budivelnykh 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 budivelnykh 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 budivelnykh vyrobiv i budivelnykh konstruksii. Chastyna 3. Klasyfikatsiia za rezultatamy vyprobuvan na vohnestiikist vyrobiv ta konstruksii, yaki vykorystovuiut v inzhenernykh systemakh budivel. Vohnestiiki povitrovody ta protypozhezhni klapany (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 vyprobuvannia 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 ohnezashchyty stalnykh konstruktsyi 2017. Metinvest, 2017. URL : http://www.uscc.ua/files/30/ognezashchita_catalog_2017.pdf (20.10.2020) [In Russian].
13. Ohnezashchyta 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. Tekhnycheskye uslovyia. [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.
