УДК 614.841.45

ВПЛИВ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ ВОГНЕЗАХИСТУ НА ВОГНЕСТІЙКІСТЬ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

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

Новак С.В.[1], ORCID iD 0000-0001-7087-318X
Дріжд В.Л.[2], ORCID iD 0000-0003-2507-7007
Добростан О.В.[1*]., ORCID iD 0000-0001-8908-0729
*E-mail: dob2009@ukr.net

[1]*Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту, Україна*
[2]*Наукове-виробниче підприємство «Спецматеріали», Україна*

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 05.05.2021
Пройшла рецензування: 24.05.2021

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

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

АНОТАЦІЯ

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

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

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

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

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

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

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

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

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

Методи випробування, наведені в EN 13381-4 [3] і EN 13381-8 [4], забезпечують одержання даних щодо вогнезахисної здатності систем вогнезахисту для сталевих конструкцій, в яких використано пасивні або реактивні матеріали, у формі, придатній для прямого внесення у норми будівельного проектування. За цими методами набір коротких ненавантажених сталевих конструкцій (колон або балок довжиною 1,0 м), захищених системою вогнезахисту, піддають випробуванню в умовах вогневого впливу за стандартним температурним режимом. Також вогневому впливу в аналогічний спосіб піддають навантажені і ненавантажені балки або колони з метою одержання інформації щодо здатності системи вогнезахисту залишатися неушкодженою і такою, яка зберігає адгезію до сталевої конструкції (здатність до зчеплення). Упродовж випробування вимірюють температуру конструкцій у ряді точок їхньої сталевої поверхні. Для оцінювання системи вогнезахисту використовують дані щодо температури коротких сталевих конструкцій. Разом з цим, ці дані коригують з урахуванням показників здатності системи вогнезахисту до зчеплення. Оцінювання властивостей системи вогнезахисту, що характеризують обмеження теплового впливу, виконують, виходячи з коригованої середньої температури сталі для кожної короткої конструкції, користуючись однією з процедур оцінювання, наведених в стандарті. В результаті цього оцінювання одержують ряд таблиць і графічних відображень, що стосуються проміжків часу збереженості вогнестійкості 15 хв, 30 хв, 45 хв тощо. Кожна таблиця або графічне відображення вказують мінімальну товщину системи вогнезахисту, необхідну для гарантування того, що проектні (критичні) температури 350 °С, 400 °С, …, 700 °С на сталевих конструкціях, які мають певні коефіцієнти поперечного перерізу, не буде перевищено.

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

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

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

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

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

Для досягнення цієї мети було поставлено такі завдання:

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

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

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

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

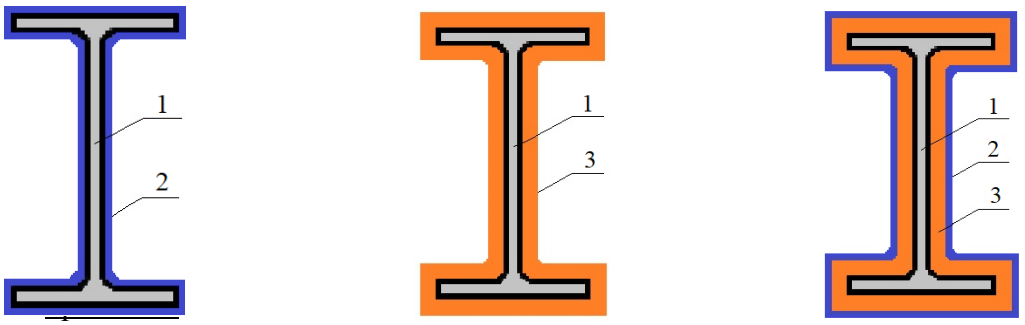
Виготовляли шість експериментальних зразків, які було поділено на дві групи *A* і *B*. Параметри цих зразків наведено в табл. 1. На рис. 1, 2 показано їхню конструкцію. Для створення зразків використовували сталеві колони висотою 2,0 м двотаврового перерізу профілю № 20 за ДСТУ 8768 [14], які мають коефіцієнт поперечного перерізу A_m/V = 292 м$^{-1}$, пасивний вогнезахисний матеріал (штукатурку) на основі суміші «Ендотерм 210104» [15], реактивний вогнезахисний матеріал, що спучується, на основі суміші «Ендотерм 170205» [16] і вогнезахисний екран коробчастої форми з оцинкованої сталі завтовшки 0,5 мм. Перед вогнезахисним обробленням на поверхню колон наносили ґрунтове покриття ГФ-021 [17] завтовшки 0,05 мм. В зразках *A*1–*A*3 застосовано відповідно реактивну, пасивну і комбіновану системи вогнезахисту без вогнезахисних екранів, в зразках *B*1–*B*3 – системи вогнезахисту з екранами. В конструкції зразків *B*1 і *B*3 застосовано вогнезахисні екрани, які мають реактивне покриття на внутрішній і зовнішній поверхнях екрану. У зразку *B*2 таке покриття поверхні екрану відсутнє. У зразках *B*2 і *B*3 на поверхню колон наносили пасивне вогнезахисне покриття, у зразку *B*1 – реактивне покриття. Мінімальна відстань між покриттям

колони і внутрішньою поверхнею екрану має місце для зразка *B*2 і становить 10 мм.

Для виготовлення зразків використовували суміші з однієї партії продукції.

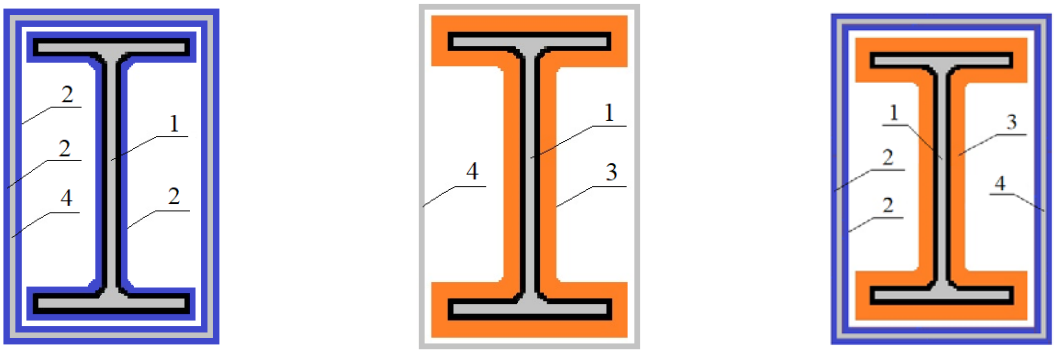
Таблиця 1 – Параметри експериментальних зразків

№	Група	Позначка зразка	Наявність пасивного покриття на поверхні профілю/ товщина покриття, мм	Наявність реактивного покриття на поверхні профілю або штукатурки/ товщина покриття, мм	Наявність екрану в зразку	Наявність реактивного покриття на внутрішній поверхні екрану/ товщина покриття, мм	Наявність реактивного покриття на зовнішній поверхні екрану/ товщина покриття, мм
1	*A*	*A*1	Ні	Так/2,17	Ні	Ні	Ні
2	*A*	*A*2	Так/28,25	Ні	Ні	Ні	Ні
3	*A*	*A*3	Так/20,73	Так/2,12	Ні	Ні	Ні
4	*B*	*B*1	Ні	Так/2,07	Так	Так/1,80	Так/0,47
5	*B*	*B*2	Так/29,06	Ні	Так	Ні	Ні
6	*B*	*B*3	Так/24,53	Ні	Так	Так/0,87	Так/0,29



1 – сталева колона; 2 – реактивне покриття; 3 – пасивне покриття

Рисунок 1 – Конструкція експериментальних зразків групи *A*



1 – сталева колона; 2 – реактивне покриття; 3 – пасивне покриття; 4 – екран

Рисунок 2 – Конструкція експериментальних зразків групи *B*

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

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

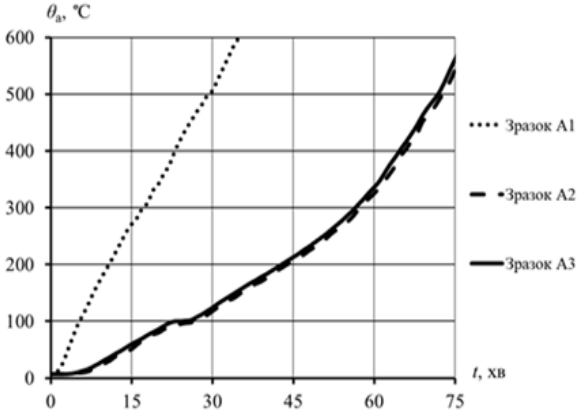


Рисунок 3 – Залежності температури експериментальних зразків групи А (без вогнезахисних екранів) від тривалості вогневого впливу за стандартним температурним режимом

Для всіх зразків групи А залежність їхньої температури від тривалості вогневого впливу за стандартним температурним режимом має монотонно зростаючий характер (рис. 3). Швидкість підвищення температури найбільша для зразка А1 (з реактивним покриттям), найменша – для зразка А2 (з пасивним покриттям). Для зразка *А*3 (з комбінованим покриттям) швидкість підвищення температури незначно більша ніж для зразка *А*2.

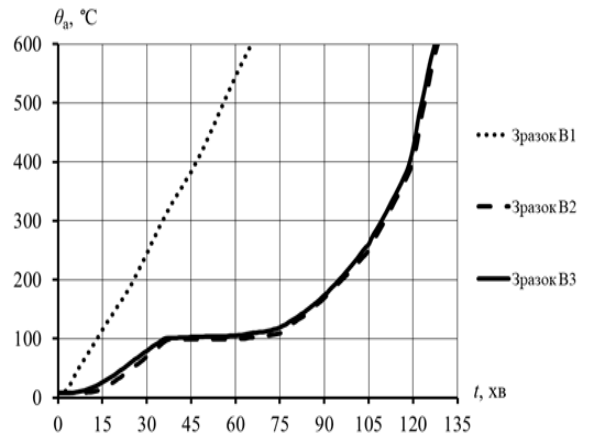


Рисунок 4 – Залежності температури експериментальних зразків групи В (з вогнезахисними екранами) від тривалості вогневого впливу за стандартним температурним режимом

Таблиця 2 – Значення проміжків часу до досягнення проектних температур

Проектна температура θ_D, °С	350	400	450	500	550
Зразок	Проміжком часу t_D, хв				
*А*1	20	23	25	28	31
*А*2	61	64	68	71	75
*А*3	60	63	67	70	73
*В*1	39	45	50	54	59
*В*2	114	119	121	123	125
*В*3	113	118	120	122	124

Значення температури 550 °С для зразків *А*1, *А*2, *А*3 досягається за тривалості вогневого впливу 31 хв, 75 хв, 73 хв, відповідно.

Для зразків групи *В* монотонно зростаючий характер залежності температури від тривалості вогневого впливу спостерігається тільки для зразка *В*1 (з реактивним покриттям профілю). Для зразків *В*2 і *В*3 (з пасивним покриттям профілю) на цій залежності має місце ділянка зі сталою температурою, яка становить 100 °С (рис. 4). Швидкість підвищення температури найбільша для зразка *В*1, найменша – для зразків *В*2 і *В*3. Значення температури 550 °С для зразків *В*1, *В*2, *В*3 досягається за тривалості вогневого впливу 59 хв, 125 хв, 124 хв,

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

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

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

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

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

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

Критична температура сталі θ_{cr}, °С	350	400	450	500	550
Зразки для порівняння	Величина підвищення вогнестійкості $\delta t_{cr,BA}$, %				
*B*1, *A*1	95	96	100	93	90
*B*2, *A*2	87	86	78	73	67
*B*3, *A*3	88	87	79	74	70

Ефективність застосування вогнезахисних екранів більша у разі наявності на поверхні конструкції пасивного покриття ніж реактивного матеріалу. Наприклад, вогнестійкість сталевої конструкції, захищеної екраном, з пасивним покриттям профілю у разі θ_{cr} = 510 °С становить 123 хв (табл. 2, зразок *B*2), в той час, як для конструкції з реактивним покриттям вона складає 54 хв (табл. 2, зразок *B*1).

Застосування реактивного покриття на внутрішній і зовнішній поверхнях вогнезахисних екранів не призводить до підвищення вогнестійкості сталевої конструкції, яку захищають екраном. Про це свідчать дані щодо порівняння проміжків часу до досягнення проектних температур, наведених в табл. 2 для зразків *B*2 і *B*3. Різниця між значеннями цих проміжків не перевищує 2 хв.

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

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

Висновки та напрями подальших досліджень. Проведеним дослідженням визначено особливості залежностей температури сталевих конструкцій двотаврового профілю з системою вогнезахисту, в якій застосовано вогнезахисне покриття профілю і вогнезахисний екран, від тривалості вогневого впливу за стандартним температурним режимом. Встановлено, що ця залежність для сталевих конструкцій з реактивним покриттям профілю має монотонно зростаючий характер. Для конструкцій з пасивним покриттям профілю на цій залежності має місце ділянка зі сталою температурою, яка становить 100 °С. Швидкість підвищення температури найбільша для конструкції з реактивним покриттям профілю (значення температури 550 °С досягається за тривалості вогневого впливу 59 хв), найменша – для конструкції з пасивним покриттям (ця температура досягається за тривалості 125 хв).

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

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

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

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

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

REFERENCES

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

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

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

S. Novak[1], V. Drizhd[2], O. Dobrostan[1],
[1]*Institute of Public Administration and Research on Civil Defense, Ukraine*
[2]*Scientific and production enterprise "Special materials", Ukraine*

KEYWORDS

fire resistance, fire protection screen, fire protection coating, critical temperature, fire protection system, steel structure

ANNOTATION

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

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