

УДК 614.841.45

DOI:<https://doi.org/10.31731/2524.2636.2023.7.1.131.148>

Максим ПУСТОВИЙ¹ (ORCID: 0000-0003-1434-4296),

Ігор МАЛАДИКА¹, кандидат технічних наук, доцент (ORCID: 0000-0001-8784-2814),

Сергій НОВАК², кандидат технічних наук, старший науковий співробітник

(ORCID: 0000-0001-7087-318X),

¹Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля

Національного університету цивільного захисту України,

²Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту

ОЦІНЮВАННЯ НЕОБХІДНОЇ ТОВЩИНИ ВОГНЕЗАХИСТУ ДЛЯ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ ЗА РІЗНИМИ ТЕМПЕРАТУРНИМИ РЕЖИМАМИ ПОЖЕЖІ

Проведене дослідження ставило за мету виявлення невирішених питань щодо оцінювання необхідної товщини вогнезахисту для сталевих конструкцій в умовах вогневого впливу за різними температурними режимами пожежі та визначення напрямів подальших досліджень. Для досягнення цієї мети було розв'язано завдання щодо визначення і аналізу чинних вимог до вогнестійкості сталевих конструкцій, застосованих методів оцінювання вогнестійкості цих конструкцій і необхідної товщини їхнього вогнезахисту, наявних даних стосовно значень цієї товщини, отриманих для різних температурних режимів пожежі.

За результатами проведеного дослідження виявлено, що відповідно до європейських і національних стандартів і державних будівельних норм вимоги до вогнестійкості і класифікацію за вогнестійкістю несучих конструкцій без огороджувальних функцій, таких як балок і колон, встановлено тільки для умов вогневого впливу за стандартного температурного режиму. Водночас в Єврокодах 1, 3 і національних стандартах передбачено проведення оцінювання вогнестійкості таких сталевих конструкцій також за температурними режимами вуглеводневої і зовнішньої пожежі. Методи визначення необхідної мінімальної товщини вогнезахисту для сталевих конструкцій регламентовано в європейських і національних стандартах також тільки для умов вогневого впливу за стандартного температурного режиму. Процедура оцінювання цієї товщини для умов вогневого впливу за температурними режимами вуглеводневої і зовнішньої пожежі є невизначеною. Невизначеним також є питання стосовно залежностей щодо необхідної мінімальної товщини вогнезахисту для сталевих конструкцій, які стосуються вогневого впливу за іншими ніж стандартний номінальними температурними режимами пожежі, а також даних щодо співвідношення між значеннями цієї товщини, отриманими за різними номінальними режимами. Така невизначеність породжує потенційно цікаві напрями подальших досліджень, які орієнтовані на виявлення впливу номінальних температурних режимів пожежі на необхідну мінімальну товщину вогнезахисту для таких сталевих конструкцій, як балки і колони, для широких діапазонів змінювання теплофізичних властивостей застосованих вогнезахисних матеріалів, критичної температури сталі, коефіцієнта поперечного перерізу і проміжку часу збереженості вогнестійкості.

Ключові слова: вогнезахисний матеріал, вогнестійкість, система вогнезахисту, сталева конструкція, температурний режим, товщина вогнезахисту.

Постановка проблеми. В сучасному будівництві широко застосовують сталеві конструкції – елементи конструктивної системи будинків, будівель і споруд (далі –

будівель), що несуть навантаження і виготовлені зі сталі [1; 2]. Прикладом таких конструкцій є сталеві балки і колони, які застосовують як всередині так і зовні будівель [3]. Сталеві конструкції дозволяють зводити будівлі будь-якого призначення і рівня складності. Така широка їхня застосовність викликана цілою низкою переваг, серед яких – надійність, легкість, індустріальність, швидкість монтажу, а також простота ремонту і реконструкції [4]. Водночас вже на перших хвилинах пожежі завдяки значній теплопровідності сталі незахищені сталеві конструкції швидко прогриваються і втрачають свою несучу здатність, що призводить до їхнього руйнування [5].

Для збереженості вогнестійкості сталевих конструкцій протягом пожежі використовують різні системи вогнезахисту, які містять пасивні та реактивні матеріали [6–8]. Необхідну мінімальну товщину таких систем на етапі їх оцінки відповідності визначають для умов вогневого впливу за стандартного температурного режиму пожежі [9]. Однак для інших температурних режимів умовної пожежі (температурні режими вуглеводневої й зовнішньої пожежі [10]) такі дані є невизначеними, що обмежує практичне застосування систем, призначених для вогнезахисту сталевих конструкцій.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. В дослідженнях, наведених в [11–13], розглянуто питання щодо залежності необхідної мінімальної товщини вогнезахисту сталевих конструкцій від параметрів систем вогнезахисту, а також залежності між проміжком часу досягнення певної проектної температури сталі і коефіцієнтом поперечного перерізу для різних номінальних температурних режимів пожежі.

Показано, що зі зменшенням проектної температури сталі та підвищенням коефіцієнта теплопровідності застосованих вогнезахисних матеріалів, коефіцієнта поперечного перерізу і проміжку часу збереженості вогнестійкості необхідна мінімальна товщина вогнезахисту збільшується [11]. Подано співвідношення між значеннями необхідної мінімальної товщини вогнезахисту, визначеними для одношарових і багатошарових систем вогнезахисту. Наведені в роботі [11] залежності отримано спрощеним розрахунковим методом [14] для заданих сталих величин теплофізичних властивостей застосованих вогнезахисних матеріалів і умов вогневого впливу за стандартного температурного режиму.

Наведено залежності між проміжком часу досягнення різної проектної температури сталі і коефіцієнтом поперечного перерізу для незахищених сталевих конструкцій, визначені для умов вогневого впливу за стандартного температурного режиму і за температурного режиму вуглеводневої пожежі [12]. Зроблено висновок, що для незахищених сталевих конструкцій цей проміжок часу, визначений для температурного режиму вуглеводневої пожежі, на декілька десятків відсотків менший ніж проміжок для стандартного температурного режиму. В цій же роботі [12] показано, що для сталевих конструкцій, захищених матеріалами певних типів, цей проміжок часу для температурного режиму вуглеводневої пожежі менший на 17 % – 59 % для ніж для стандартного температурного режиму.

Наведено дані щодо різниці між значеннями мінімальної товщини вогнезахисту, необхідними для забезпечення вогнестійкості в умовах вогневого впливу за стандартного температурного режиму і за температурного режиму вуглеводневої пожежі [13]. В цій роботі [13] показано, що для сталеві конструкції з певним коефіцієнтом поперечного перерізу, яку оснащено реактивним вогнезахисним покриттям «Amotherm Steel Wb», необхідна мінімальна товщина вогнезахисту для температурного режиму вуглеводневої пожежі приблизно у два рази більша ніж для умов вогневого впливу за стандартного температурного режиму.

Потрібно відмітити, що для виробників і споживачів вогнезахисних матеріалів, які застосовують в різних системах вогнезахисту для сталевих конструкцій, є важливим мати дані щодо необхідної мінімальної товщини вогнезахисту із цих матеріалів, визначені для широких діапазонів параметрів цих систем і умов вогневого впливу за різними температурними режимами пожежі. Це необхідне для визначення розширеної сфери застосування систем вогнезахисту для сталевих конструкцій і проведення оптимізації їх параметрів для подальшого удосконалення і розвитку технології вогнезахисту цих конструкцій. Тому актуальним слід вважати дослідження, спрямоване на виявлення стану питання щодо оцінювання необхідної товщини вогнезахисту для сталевих конструкцій в умовах вогневого впливу за різними температурними режимами пожежі.

Постановка задачі та її розв'язання. За мету дослідження ставилось виявлення невирішених питань щодо оцінювання необхідної товщини вогнезахисту для сталевих конструкцій в умовах вогневого впливу за різними температурними режимами пожежі та визначення напрямів подальших досліджень.

Для досягнення цієї мети було поставлено завдання щодо визначення і аналізу чинних вимог до вогнестійкості сталевих конструкцій, застосованих методів оцінювання вогнестійкості цих конструкцій і необхідної товщини їхнього вогнезахисту, наявних даних стосовно значень цієї товщини, отриманих для різних температурних режимів пожежі, формулювання напрямів подальших досліджень.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих результатів.

Метод дослідження. Для дослідження застосовано аналітичний метод, який полягає у розгляданні положень європейських і національних нормативних документів, які встановлюють вимоги і методи оцінювання вогнестійкості сталевих конструкцій і необхідної товщини їхнього вогнезахисту, а також оцінюванні наявних даних щодо необхідної товщини вогнезахисту для сталевих конструкцій, наведених в різних джерелах інформації.

Вимоги до вогнестійкості сталевих конструкцій і необхідної товщини їхнього вогнезахисту

У розвитку вимог до вогнестійкості сталевих конструкцій в нашій країні можна відмітити два характерні етапи [15].

Перший етап – це часи СРСР. Першим документом, який містив вимоги до вогнестійкості будівельних конструкцій, були “Временные правила и нормы промышленного строительства”, що набули чинності в 1929 році. В ньому будівельні матеріали, конструкції та будівлі залежно від ступеня опору впливу вогню було поділено на дві групи: такі, що не горять (вогнестійкі та негорючі), і такі, що горять (захищені від займання та такі, що займаються).

У 1951 році набули чинності перші норми будівельного проектування НСП 102-51 “Противопожарные нормы строительного проектирования промышленных предприятий и населенных мест”. Сфера застосування цих норм поширювалась як на етап проектування та реконструкції будівель, так й на будівництво житлових, громадських та допоміжних будівель. В розділі “Огнестойкость зданий и сооружений” цих норм будівельні матеріали було поділено на три групи: негорючі, важкогорючі та горючі. Будівельні конструкції оцінювали не тільки за горючістю матеріалів, з яких вони виготовлялися, але й за вогнестійкістю – за здатністю конструкції виконувати несучі та огорожувальні функції. Залежно від цих показників було встановлено п'ять ступенів вогнестійкості будівель (I, II, III, IV та V).

У нормативних документах, які набули чинності після НСП 102-51, підхід до нормування вогнестійкості будівельних конструкцій не змінився, а змінювалися лише

значення їх мінімальної межі вогнестійкості. З набуттям чинності у 1985 році СНиП 2.01.02-85 “Противопожарные нормы” [16] загальна кількість ступенів вогнестійкості будівель зросла з п’яти до восьми (було додано такі ступені вогнестійкості, як IIIa, IIIb та IVa). Ступінь вогнестійкості будівлі в цих нормах визначали за мінімальними значеннями межі вогнестійкості конструкцій і максимальними значеннями межі поширення вогню цими конструкціями. Було введено термін «межа вогнестійкості конструкції» – показник вогнестійкості конструкції, який визначається проміжком часу від початку вогневого випробування за стандартного температурного режиму до настання одного з нормованих для даної конструкції граничних станів за вогнестійкістю [17].

На другому етапі, який розпочався з наданням незалежності нашій країні, здійснюється удосконалення національних нормативних документів стосовно вимог до вогнестійкості будівельних конструкцій, виготовлених з різних матеріалів. Впроваджені на цьому етапі в Україні нормативно-правові акти і нормативні документи вже враховують сучасну європейську концепцію забезпечення пожежної безпеки будівель, яка визначена в Європейській Директиві № 106 від 1989 року [18] і Європейському Регламенті № 305 від 2011 року [19]. У цій концепції визначено основні вимоги до будівельних конструкцій і будівель, які спрямовані на забезпечення безпеки життя і здоров’я людини, безпеки експлуатації будівлі, механічного опору і стійкості будівлі та будівельних конструкцій у складі будівлі, пожежної безпеки будівлі, економії енергії, захисту навколишнього середовища. Основна вимога щодо пожежної безпеки у будівництві визначена таким чином: “Будівельні об’єкти повинні проектуватись і зводитись таким чином, щоб у разі виникнення пожежі були виконані п’ять основних принципів:

- зберігалася несуча здатність будівельних конструкцій протягом певного проміжку часу;
- було обмежене утворення і поширення вогню та диму всередині об’єкта;
- було обмежене поширення вогню на сусідні будівельні об’єкти;
- люди могли залишити об’єкт або бути врятовані іншим способом;
- були враховані питання безпеки рятувальних команд”.

Положення цієї європейської концепції впроваджено в Законі України «Про надання будівельної продукції на ринку» [20], «Технічному регламенті будівельних виробів, будівель і споруд» [21] і державних будівельних нормах ДБН В.1.2-7 [22] й ДБН В.1.1-7 [23].

У ДБН В.1.2-7 [27], який розроблено на основі положень Тлумачного документу «Основна вимога № 2. Пожежна безпека» [24] до вищезазначеної Директиви [23], регламентовано основоположні підходи до забезпечення основної вимоги з пожежної безпеки у будівництві та конкретизовані суттєві експлуатаційні характеристики будівельних конструкцій і будівель, які впливають на її виконання. У цих будівельних нормах визначено основні положення стосовно умов вогневого впливу на будівельну конструкцію під час пожежі, критерії експлуатаційних характеристик та наведено класифікацію цих характеристик. Зокрема, в них наведено, що вогнестійкість будівельних конструкцій може бути унормовано з урахуванням сценаріїв умовної пожежі за такими номінальними температурними режимами [9; 10]:

- стандартний температурний режим;
- температурний режим вуглеводневої пожежі;
- температурний режим зовнішньої пожежі;
- температурний режим тліючої пожежі (пожежі, яка повільно розвивається).

Серед цих номінальних режимів температурний режим вуглеводневої пожежі є найбільш жорстким і стосується пожеж на нафтопереробних підприємствах або у

транспортних тунелях, де наявність великої кількості горючих рідин призводить до різкого зростання температури газового середовища вже у перші хвилини пожежі. Стандартний температурний режим стосується целюлозних пожеж всередині будівель. Температурний режим зовнішньої пожежі, який є менш інтенсивним ніж стандартний температурний режим, використовують для зовнішніх конструкцій будівель, компонентами яких можуть бути сталеві конструкції. Цей температурний режим моделює вплив на зовнішню конструкцію вогню, що може виходити з вікна будівлі, або від пожежі ззовні, що відбувається в режимі вільного горіння [10]. Температурний режим тлійної пожежі (пожежі, яка повільно розвивається) застосовують для будівельних конструкцій, які містять реактивні вогнезахисні матеріали [10]. Вогнестійкість таких конструкцій, визначена за стандартного температурного режиму, може бути суттєво завищеною у порівнянні з випадком пожежі, що розвивається повільно.

Також у ДБН В.1.2-7 [22] визначено, що міцність і стійкість будівельного об'єкта під час пожежі повинна забезпечуватись вогнестійкістю його конструктивної системи, яка вважається забезпеченою, якщо доведена вогнестійкість окремих конструкцій цієї системи. Встановлено, що для несучих конструкцій без огорожувальних функцій (балок і колон) критерієм експлуатаційних характеристик є несуча здатність R, і чинна така класифікація за вогнестійкістю: R 15, R 30, R 45, R 60, R 90, R 120, R 150, R 180, R 240. У цій класифікації число означає проміжок часу (у хвилинах) збереженості вогнестійкості будівельної конструкції за умов вогневого впливу на неї стандартного температурного режиму. Детально положення щодо класифікації будівельних конструкцій за вогнестійкістю наведено в європейському і відповідному національному основоположних стандартах з класифікації за вогнестійкістю [25; 26]. В цих стандартах встановлено, що класифікацію за вогнестійкістю несучих конструкцій без огорожувальних функцій (балок і колон) здійснюють тільки за стандартного температурного режиму [9].

Слід відмітити, що в ДБН В.1.2-7 [22] для будівельних конструкцій, в тому числі і для сталевих, не встановлено конкретних вимог щодо їхніх необхідних класів за вогнестійкості залежно від призначення будівлі, її поверховості тощо. Такі вимоги до вогнестійкості будівельних конструкцій визначено в ДБН В 1.1-7 [23]. В цих нормах наведено мінімальні класи вогнестійкості будівельних конструкцій для будівель різних ступенів вогнестійкості. Зокрема, в них висунуто вимоги до мінімального класу вогнестійкості балок (в тому числі сталевих) від R 15 до R 60, а для колон – від R 15 до R 150, для умов вогневого впливу на них за стандартного температурного режиму. Положення, наведені в ДБН В 1.1-7 [23], передбачають встановлення вимог до вогнестійкості будівельних конструкцій за іншими, ніж стандартний, номінальними температурними режимами. Однак, конкретних вимог до будівельних конструкцій за цими альтернативними номінальними режимами в цих нормах не встановлено.

Враховуючи те, що незахищені сталеві конструкції не задовольняють навіть мінімальні вимоги до вогнестійкості, для збереженості їхньої несучої здатності під час пожежі застосовують вогнезахист [1; 2; 6]. Термін «вогнезахист» стандартизовано в європейських стандартах EN 13381-4 [1] і EN 13381-8 [2], відповідно до яких він означає захист, забезпечуваний сталевій конструкції системою вогнезахисту, за якого температуру сталевій конструкції обмежено упродовж всього проміжку часу вогневого впливу. Системою вогнезахисту вважають вогнезахисний матеріал разом з системою кріпильних елементів, у тому числі арматурною сіткою, а також відповідною ґрунтовкою та/або верхнім покриттям (якщо його використовують) [1; 2].

Для сталевих конструкцій, таких як балки і колони, застосовують профільовані і коробчасті системи вогнезахисту, а також системи з горизонтальними і вертикальними

вогнезахисними екранами [27; 28]. У цих системах використовують вогнезахисні матеріали – вироби, призначені для підвищення вогнестійкості конструкцій. До них належать реактивні вогнезахисні матеріали, що спучуються під час вогневого впливу [6], і пасивні вогнезахисні матеріали – вогнезахисні штукатурки [7], панелі, плити і мати [8].

Товщина вогнезахисту для сталевих конструкцій має бути такою, щоб забезпечити збереженість їхньої вогнестійкості під час пожежі. Товщиною вогнезахисту є товщина в сухому стані системи вогнезахисту у вигляді нанесеного одношарового вогнезахисного матеріалу або сукупна товщина всіх шарів багатшарової системи вогнезахисту за винятком товщини системи кріпильних елементів або нащільників [1; 2]. Товщина застосовного вогнезахисту має бути не меншою за певну величину – необхідну мінімальну товщину вогнезахисту, значення якої залежить від теплових властивостей (показників) системи вогнезахисту, яку використовують.

В умовах вогнезахисного оброблення сталевих конструкцій проводять вимірювання товщини вогнезахисту у певних місцях цих конструкцій. Вогнезахист вважають прийнятним, якщо його середня фактична товщина на всій поверхні сталевій конструкції є не меншою ніж необхідна мінімальна товщина вогнезахисту, визначена під час оцінювання теплових показників застосовної системи вогнезахисту. Крім того, товщина вогнезахисту у вигляді плит і панелей, визначена в точках її вимірювання, не повинна відрізнитися більше ніж на 15 % від середнього значення на всій поверхні сталевій конструкції [1]. Товщина вогнезахисних матеріалів, що наносять методом розпилювання, а також штукатурки, визначена в точках її вимірювання, не повинна відрізнитися від середнього значення більше ніж на 20 % [1; 7]. Для систем з реактивними вогнезахисними матеріалами встановлено такі вимоги щодо фактичної товщини вогнезахисту [2]:

- не менше ніж 68 % результатів вимірювання товщини мають відрізнитися від середнього значення товщини не більше ніж на ± 20 %;
- не менше ніж 95 % результатів вимірювання товщини мають відрізнитися від середнього значення товщини не більше ніж на ± 30 %;
- всі результати вимірювання товщини мають відрізнитися від середнього значення товщини не більше ніж на ± 45 %.

Слід відмітити, що також як і проміжок часу збереженості вогнестійкості сталевій конструкції, значення необхідної мінімальної товщини їхнього вогнезахисту залежить від застосовного номінального температурного режиму пожежі.

Методи оцінювання вогнестійкості сталевих конструкцій і необхідної мінімальної товщини застосовного вогнезахисту. На європейському і національному рівнях оцінювання вогнестійкості будівельних конструкцій враховує такі етапи:

- вибір проектного сценарію пожежі;
- визначення температурного режиму пожежі;
- визначення підвищення температури і (або) напружено деформованого стану в будівельній конструкції в умовах вогневого впливу.

Сценарієм пожежі є якісний опис розвитку пожежі із зазначенням часу ключових моментів, які характеризують дану пожежу і відрізняють її від інших можливих пожеж. Сценарій, зазвичай, визначає процеси загоряння та розвитку пожежі, стадії повного розвитку та загасання пожежі, з урахуванням оточуючого середовища будівлі та систем, які впливають на розвиток пожежі [29; 30]. Застосовують два підходи: в одному з них використовують сценарії умовної (номінальної) пожежі, в іншому – сценарії реальної (параметричної) пожежі.

Температурним режимом пожежі є залежність температури газового середовища, яке оточує поверхні будівельних конструкцій, від тривалості пожежі.

Для оцінювання вогнестійкості застосовують номінальні температурні режими пожежі – загальноприйняті температурні режими, що призначені для класифікації або перевірки вогнестійкості будівельних конструкцій, і параметричні температурні режими, які враховують стадії повного розвитку та загасання пожежі і призначені для перевірки вогнестійкості будівельних конструкцій.

Методи оцінювання вогнестійкості будівельних конструкцій ґрунтуються на положеннях Регламенту ЄС № 305 [19], Тлумачного документа «Основна вимога № 2. Пожежна безпека у будівлях» [24] і відповідних гармонізованих нормативних документів [20; 22]. В цих документах визначено основні підходи і принципи, які враховані в експериментальних і розрахункових методах оцінювання вогнестійкості будівельних конструкцій.

Для експериментальних методів це вимоги, які забезпечують однакові умови випробування і спрямовані на врахування реальних умов експлуатації і поведінки будівельних конструкцій під час пожежі. Вони стосуються нормованого теплового впливу на зразки будівельних конструкцій та їх розташування у випробувальній печі, граничних станів та класифікації окремих будівельних конструкцій (окремих конструкцій конструктивної системи будівлі) за вогнестійкістю. Зазначені вимоги враховано у відповідних європейських стандартах на методи випробувань на вогнестійкість будівельних конструкцій конкретних типів. В цих стандартах під будівельною конструкцією розуміють певний компонент будівлі. Наприклад, в стандартах EN 1365-3 [31] і EN 1365-4 [32] наведено методи випробування на вогнестійкість балок і колон, виготовлених зі сталі, бетону або інших матеріалів. Перелік основних європейських стандартів на методи випробувань будівельних конструкцій на вогнестійкість наведено в EN 13501-2 [25]. Переважна кількість цих стандартів ґрунтуються на положеннях основоположного стандарту EN 1363-1 [9] стосовно застосування стандартного температурного режиму у випробувальній печі, умов навантаження зразків та інших вимог, які забезпечують отримання відтворюваних результатів випробування будівельних конструкцій на вогнестійкість. У цих стандартах наведено також сферу прямого застосування результатів випробування, яка визначає параметри будівельних конструкцій, для яких отримані результати є дійсними. Окрім зазначених стандартів в ЄС впроваджено низку стандартів для визначення більш широкої сфери застосування отриманих результатів випробування. Ці стандарти містять правила, які можуть мати процедури розрахунку та/або додаткових випробувань і дають змогу передбачити для різних параметрів будівельної конструкції та/або її використань за передбачуваним призначенням властивостей виробу та/або його використання результат випробування на підставі одного або більшої кількості результатів випробувань, проведених згідно з одним і тим самим стандартом на метод випробування.

На національному рівні є чинними відповідні гармонізовані державні стандарти. Зокрема, в Україні випробування на вогнестійкість балок і колон проводять за стандартами ДСТУ EN 1365-3 і ДСТУ EN 1365-4. Для випробування балок використовують горизонтальні випробувальні печі, які забезпечують можливість нагрівання зразка з трьох боків. Зразок установлюють на печі як балку, що вільно оберта. Для випробування колон використовують вертикальні випробувальні печі, які забезпечують можливість нагрівання зразка з чотирьох боків. Зразки піддають впливу стандартного температурного режиму і визначають проміжок часу до настання граничного стану за ознакою втрати несучої здатності. Цим граничним станом є обвалення зразка або виникнення граничних деформацій, які відповідають граничному значенню прогину і швидкості його наростання – для

балок, і граничному значенню повздовжнього зміщення навантаженого кінця зразка і швидкості його наростання – для колон [9]. В цих стандартах наведено вимоги до зразків для випробування, процедуру випробування і сферу прямого застосування отриманих результатів.

Потрібно відмітити, що для експериментальних методів невизначеним в повній мірі залишається питання перенесення отриманих результатів випробування на вогнестійкість на конструкції реальних розмірів, які більші ніж розміри зразків, які було випробувано, а також на конструкції, поперечний переріз яких менший ніж переріз зразків, які було випробувано. Це, зокрема, стосується балок і колон. Крім того, за отриманими результатами випробування проводять оцінювання вогнестійкості окремої будівельної конструкції (зокрема, балки, колони) в умовах впливу стандартного температурного режиму і не можливо оцінити вогнестійкість конструктивної системи в цілому або її частини. Також, отримані за існуючими стандартами результати не дозволяють оцінити вогнестійкість будівельної конструкції за іншими ніж стандартний номінальними температурними режимами пожежі.

Стосовно розрахункових методів, то в EN 1991-1-2 [29] і ДСТУ-Н Б В.2.6-211 [30] наведено, що залежно від об'єкту, який піддано аналізу (окрема конструкція, чи частина конструктивної системи, чи конструктивна система в цілому), і обраного сценарію пожежі (реальна або умовна пожежа), для розрахунку вогнестійкості застосовують уточнені, спрощені або табличні методи.

Опис застосовних для сталевих конструкцій методів розрахунку на вогнестійкість наведено в Єврокод 3 [14]. Для цих конструкцій застосовні спрощені і уточнені розрахункові методи, а табличні методи не використовують через відсутність необхідних відтворюваних даних щодо вогнестійкості сталевих конструкцій, оснащених вогнезахистом [14; 30]. Спрощені методи застосовують для окремих сталевих конструкцій – балок і колон. Для цих методів вважають, що несуча здатність сталевій конструкції зберігається за умови, що розрахунковий опір сталевій конструкції під час пожежі не менший ніж розрахунковий навантажувальний ефект [14; 30]. Як альтернативу цьому із застосуванням допущення щодо рівномірного розподілу температури в сталевій конструкції оцінювання вогнестійкості здійснюють в температурних параметрах шляхом порівняння розрахункової температури сталевій конструкції (далі – температури сталі) з критичною температурою сталі [14; 30]. Уточненими розрахунковими методами є методи, в яких інженерні принципи застосовані реалістичним чином до особливих прикладних задач. Ці методи застосовують для оцінювання вогнестійкості цілої конструктивної системи (будівлі), частини конструктивної системи або її окремої конструкції. Вони можуть бути застосовані для будь-якого режиму нагрівання за умови, що відомі теплофізичні властивості матеріалів, які використовують в системах вогнезахисту, для відповідних діапазонів температур. Ці методи містять окремі розрахункові моделі для визначення підвищення і розподілу температури в сталевих конструкціях і механічної поведінки конструктивної системи або будь-якої її частини під час пожежі під час пожежі [14; 30].

Стосовно визначення необхідної мінімальної товщини вогнезахисту для сталевих конструкцій, то для цієї мети використовують основоположні методи, які наведено у двох таких стандартах: EN 13381-4 [1] і EN 13381-8 [2]. Ці методи застосовні до сталевих конструкцій, що можуть використовуватись як балки або колони. Стандарт EN 13381-4 [1] поширюється на системи вогнезахисту, що складаються тільки з пасивних вогнезахисних матеріалів, а стандарт EN 13381-8 [2] – на системи, що містять тільки реактивні вогнезахисні матеріали.

Результати оцінювання необхідної товщини вогнезахисту, одержані згідно з вимогами цих стандартів, застосовні безпосередньо до сталевих конструкцій, що мають

профіль двотавру, а також до порожнистих конструкцій і не поширюються на конструкції, у ребрах яких є отвори. Крім цього, результати оцінювання, отримані щодо двотаврових конструкцій, безпосередньо застосовні до кутиків, швелерів і таврів, які мають той самий коефіцієнт поперечного перерізу і використовуються як окремі конструкції. Результатом оцінювання, проведеного за цими стандартами, є набір даних щодо мінімальної товщини вогнезахисту, необхідної для підтримування температури сталі нижче нормованого проектного значення протягом нормованого проміжку часу збереженості вогнестійкості сталевій конструкції з нормованим коефіцієнтом поперечного перерізу в умовах вогневого впливу за стандартного температурного режиму. Ці дані визначають, зазвичай, для діапазонів нормованих значень проектної температури сталі й коефіцієнта поперечного перерізу, які відповідно складають: від 350 °C до 700 °C (з кроком 50 °C) і від 40 м⁻¹ до 300 м⁻¹ (з кроком 10 м⁻¹). Їх подають в табличній формі. Приклад подання таких даних наведено в таблиці 1. Отримані результати оцінювання в подальшому застосовують для визначення мінімальної товщини вогнезахисту, необхідної для забезпечення певного нормованого класу вогнестійкості сталевій конструкції, яка має певний коефіцієнт поперечного перерізу і певну критичну температуру сталі. Це здійснюють шляхом лінійної інтерполяції значень $d_{p,min}$, які встановлено для границь інтервалів $[(A_p/V)_i, (A_p/V)_{i+10}]$ і $[(\theta_{Di}, \theta_{Di+50})]$, в яких знаходяться відповідні параметри сталевій конструкції, необхідну мінімальну товщину вогнезахисту якої визначають [1; 2].

Таблиця 1. Приклад подання результатів оцінювання

Нормований проміжок часу збереженості вогнестійкості t_f , хв								
Проектна температура сталі θ_D , °C	350	400	450	500	550	600	650	700
Коефіцієнт поперечного перерізу A_p/V , м ⁻¹	Мінімальна товщина вогнезахисту, необхідна для підтримування температури сталі нижче проектного значення $d_{p,min}$, мм							
40								
50								
...								
290								
300								

Для оцінювання необхідної мінімальної товщини вогнезахисту за цими стандартами здійснюють випробування певних наборів зразків балок та (або) колон. Вибір зразків для випробування визначають залежно від обсягів оцінювання. Кожний набір зразків для випробування відповідає мінімальній кількості зразків, необхідних для проведення оцінювання в заданому обсязі. Слід відмітити, що крім стандартних наборів зразків для реактивного вогнезахисту, в EN 13381-8 [2] передбачено застосування додаткового зразка для його випробування в умовах вогневого впливу за температурного режиму тліючої пожежі. Для випробувань, залежно від обсягів оцінювання, використовують навантажені балки завдовжки 4000 мм, навантажені колони заввишки 3000 мм, ненавантажені балки для порівняння завдовжки 1000 мм, ненавантажені колони для порівняння заввишки 1000 мм, короткі ненавантажені балки і колони завдовжки і заввишки 1000 мм, високі ненавантажені колони заввишки 2000 мм (тільки для реактивних систем вогнезахисту). На сталеву поверхню зразків для випробування встановлюють певну кількість термопар. Під час

випробування зразки встановлюють усередину печі і вимірюють їхні усереднені температури в різні проміжки часу вогневого впливу за стандартного температурного режиму.

Дані, отримані для коротких конструкцій (балок і колон), коригують з урахуванням здатності до зчеплення, застосовуючи дані, одержані під час випробування навантажених конструкцій. Здатність до зчеплення – це здатність системи вогнезахисту зберігати достатню цілісність і залишатися на місці за належно визначених діапазонів деформації, температури в печі й температури сталі з таким розрахунком, щоб здатність забезпечувати вогнезахист суттєво не знижувалася [1]. Це коригування виконують, порівнюючи проміжок часу до досягнення навантаженою конструкцією проектної температури з проміжком часу досягнення її короткою конструкцією для порівняння з аналогічними параметрами. Отримані кориговані проміжки часу до досягнення проектних температур кожною з коротких конструкцій використовують для оцінювання теплових показників систем вогнезахисту, якими є набір значень необхідної мінімальної товщини вогнезахисту. Для цього оцінювання, як для систем з пасивним, так і для систем з реактивним вогнезахистом, застосовують один з таких альтернативних методів [1; 2]:

- графічний метод;
- метод, який ґрунтується на використанні диференційної формули і передбачає змінне значення коефіцієнта теплопровідності вогнезахисного матеріалу;
- метод, який ґрунтується на використанні диференційної формули і передбачає сталі значення коефіцієнта теплопровідності вогнезахисного матеріалу;
- метод, який ґрунтується на використанні рівняння числової регресії.

Для оцінювання необхідної мінімальної товщини пасивного і реактивного вогнезахисту для сталевих двотаврових балок, у ребрах яких є отвори, а також порожнистих сталевих колон, заповнених бетоном, застосовують експериментальні і розрахункові процедури, які наведено в стандартах EN 13381-9 [33] і EN 13381-6 [34]. Ці стандарти поширюються на системи вогнезахисту, які вже було випробувано та оцінено згідно з EN 13381-4 [1] або EN 13381-8 [2]. Користування цими стандартами потребує результатів оцінювання теплових показників систем вогнезахисту, отриманих згідно з EN 13381-4 [1] або EN 13381-8 [2], як підґрунтя для визначення необхідної мінімальної товщини вогнезахисту.

Потрібно відмітити, що наведені вище стандартизовані методи є прийнятними для здійснення класифікації за вогнестійкістю відповідно до EN 13501-2 [25] захищених сталевих конструкцій, що використовують як балки або колони, і визначення необхідної мінімальної товщини вогнезахисту для цих сталевих конструкцій тільки для умов вогневого впливу за стандартного температурного режиму. Крім цього, за певними методами, поданими в EN 13381-4 [1], EN 13381-6 [34], EN 13381-8 [2] і EN 13381-9 [33], визначають дані щодо коефіцієнта теплопровідності застосованих вогнезахисних матеріалів. З урахуванням положень [14; 30], ці дані дозволяють проводити розрахункове визначення необхідної мінімальної товщини вогнезахисту, який містить ці матеріали, для сталевих конструкцій за різних сценаріїв пожежі і різних умов вогневого впливу. Наприклад, для сценарію умовної пожежі і допущення щодо рівномірного розподілу температури в сталевій конструкції, за даними щодо коефіцієнта теплопровідності вогнезахисного матеріалу, отриманими за одним із вищенаведених стандартизованих методів, можна визначити температуру сталі для певного проміжку часу вогневого впливу, який дорівнює нормованому проміжку часу збереженості вогнестійкості конструкції, і різних значень товщини вогнезахисту. Мінімальна товщина вогнезахисту, необхідна для забезпечення

нормованого проміжку часу збереженості вогнестійкості, відповідає товщині вогнезахисту, за якої температура сталі дорівнює критичній температурі сталі.

Визначені (наявні) дані щодо необхідної мінімальної товщини вогнезахисту для сталевих конструкцій за різними сценаріями пожежі. Дані щодо необхідної мінімальної товщини вогнезахисту для будівельних конструкцій подають в документах, які стосуються оцінки відповідності застосовних систем вогнезахисту або застосовних в них вогнезахисних матеріалів, серед яких протоколи випробувань, протоколи оцінювання, протоколи класифікації за вогнестійкістю, декларації, сертифікати, свідоцтва, документи щодо технічного схвалення систем вогнезахисту. Враховуючи те, що стандарт EN 13501-2 [25] передбачає проведення класифікації сталевих конструкцій, таких як балки і колони, тільки для сценарію умовної пожежі за стандартного температурного режиму, дані щодо необхідної мінімальної товщини вогнезахисту в зазначених вище документах наводять саме для умов вогневого впливу за цим номінальним температурним режимом.

Визначені дані щодо необхідної мінімальної товщини вогнезахисту для сценарію умовної пожежі за стандартного температурного режиму і низки застосовних для сталевих конструкцій систем вогнезахисту певних торгових марок висвітлено в джерелах інформації, зокрема в каталогах і аналітичних оглядах. В цих джерелах подано назви і торгові марки систем вогнезахисту або вогнезахисних виробів і значення необхідної мінімальної товщини вогнезахисту для різних величин коефіцієнта поперечного перерізу, проектної температури і проміжку часу збереженості вогнестійкості, які наведено зазвичай у табличній формі (див. табл. 1). Наприклад, в аналітичних оглядах [35; 36] застосовних в Україні у 2019–2022 роках засобів вогнезахисту для сталевих балок і колон двотаврового перерізу, а також для порожнистих сталевих балок і колон круглого і прямокутного профілів такі дані подано для п'ятнадцяти реактивних систем вогнезахисту і шести пасивних систем вогнезахисту. В таблиці 2 наведено узагальнену інформацію стосовно цих даних, з якої випливає, що для більшості застосовних реактивних систем значення необхідної мінімальної товщини вогнезахисту знаходяться в діапазоні від 0,2 мм до 2,0 мм, а для пасивних систем – в діапазоні від 20 мм до 60 мм. Є значення цієї товщини, які знаходяться поза межами цих діапазонів, що викликано особливостями оцінювання певних систем вогнезахисту, наприклад, визначенням товщини реактивного вогнезахисту для підвищеного проміжку часу збереженості вогнестійкості, який складає 180 хв. З аналізу наведених даних випливає наявність різниці у значеннях необхідної мінімальної товщини для систем вогнезахисту різних торгових марок, що викликано відмінністю в їхніх теплових показниках.

З аналізу даних, наведених в [35; 36], випливає, що для реактивних систем вогнезахисту діапазон його необхідної мінімальної товщини складає: від 0,2 мм до 1,2 мм – для проміжку часу збереженості вогнестійкості 30 хв, від 0,8 мм до 2,2 мм – для 60 хв, від 2,0 мм до 4,0 мм – для 90 хв. Для пасивних систем вогнезахисту із застосуванням вогнезахисних плит цей діапазон товщини складає: від 15 мм до 20 мм – для 30 хв, від 16 мм до 25 мм – для 60 хв, від 20 мм до 30 мм – для 90 хв, від 30 мм до 50 мм – для 120 хв. Для пасивних систем вогнезахисту із застосуванням вогнезахисних штукатурок діапазон необхідної мінімальної товщини вогнезахисту є таким: від 10 мм до 12 мм – для 30 хв, від 11 мм до 15 мм – для 60 хв, від 16 мм до 25 мм – для 90 хв, від 26 мм до 35 мм – для 120 хв.

Таблиця 2. Дані щодо необхідної мінімальної товщини для певних систем вогнезахисту сталевих балок і колон

Торгова марка системи вогнезахисту	Діапазон проміжку часу збереженості вогнестійкості t_f (в хв), який оцінено	Діапазон проектної температури сталі θ_D (в °C), який оцінено	Діапазон коефіцієнта поперечного перерізу A_p/V (в м ⁻¹), який оцінено	Діапазон необхідної мінімальної товщини вогнезахисту $d_{p,min}$ (в мм), який визначено
Реактивні системи вогнезахисту				
АММОКОТЕ MW-90	від 30 до 120	від 400 до 750	від 64 до 370	від 0,24 до 1,64
АММОКОТЕ MS-90	від 30 до 120	від 400 до 750	від 64 до 355	від 0,22 до 1,68
АМОТHERM STEEL WB	від 30 до 90	від 400 до 650	від 69 до 320	від 0,21 до 1,25
AK-121 DEFENDER M SOLVENT	від 30 до 90	від 350 до 750	від 70 до 358	від 0,20 до 1,54
DEFENS M	від 30 до 60	≥500	від 260 до 300	від 0,637 до 2,243
HENSOTHERM 310 KS	від 30 до 120	від 350 до 750	від 47 до 470	від 0,169 до 3,916
HENSOTHERM 421 KS	від 30 до 180	від 350 до 750	від 30 до 455	від 0,241 до 7,266
INTERCHAR 1120	від 90 до 120	від 350 до 750	від 50 до 360	від 0,719 до 8,989
NULLIFIRE – SC801 INTUMESCENT BASECOAT	від 30 до 150	від 350 до 750	від 31 до 362	від 0,476 до 5,311
NULLIFIRE – S 707-60 WATERBORNE BASE	від 30 до 120	від 350 до 750	від 40 до 325	від 0,20 до 1,40
PROMAPAINТ SC3	від 15 до 180	від 350 до 750	від 66 до 342	від 1,845 до 6,853
ФЕНІКС СТВ	від 30 до 90	від 400 до 650	від 68 до 350	від 0,18 до 1,21
ФЕНІКС СТС	від 30 до 90	від 400 до 650	від 69 до 320	від 0,23 до 1,98
ЕНДОТЕРМ 170205	від 30 до 90	від 450 до 550	від 71 до 340	від 0,29 до 2,01
ЕНДОТЕРМ 400202	від 30 до 90	від 400 до 650	від 70 до 340	від 0,37 до 2,09
Пасивні системи вогнезахисту				
АММОКОТЕ GP-240	від 45 до 240	≥500	від 143 до 294	від 7 до 53
НЕОСПРЕЙ	від 120 до 180	≥500	від 142 до 292	від 26 до 44
ЕНДОТЕРМ 210104	від 75 до 240	≥500	≤294	від 20,7 до 49,2
АММОКОТЕ FB-300	від 60 до 210	від 350 до 525	≤294	від 25 до 40
КНАУФ ГКПО-DF	від 90 до 180	≥500	≤222	від 33 до 81
PROMATECT-L500	від 60 до 180	≥500	від 51 до 680	від 20 до 60

Зазначені вище дані ілюструють залежність значення необхідної мінімальної товщини від виду і типу застосовного вогнезахисного засобу. Вони показують, що найменші величини ця товщина має для реактивних систем вогнезахисту, найбільші – для пасивних систем вогнезахисту. Така значна різниця у товщинах реактивних і пасивних систем вогнезахисту пов'язана з різною поведінкою цих систем під час вогневого впливу. Склад реактивних вогнезахисних матеріалів розробляють таким чином, щоб забезпечити перебіг хімічної реакції під час нагрівання, з тим щоб змінився їхній фізичний стан. Це призводить до спучування нанесеного вогнезахисного покриття. Воно збільшується в об'ємі (до 50-ти разів) завдяки спінуванню в умовах теплового впливу і в такий спосіб забезпечує вогнезахист конструкцій за рахунок теплоізолювального та ендотермічного ефектів [2]. Пасивні вогнезахисні матеріали забезпечують захист завдяки своїм фізичним або тепловим властивостям [1].

Наведені дані щодо необхідної мінімальної товщини вогнезахисту для сталевих конструкцій і результати досліджень дозволяють обґрунтовано підходити до визначення необхідної мінімальної товщини вогнезахисту цих конструкцій для сценарію умовної пожежі при вогневому впливі за стандартного температурного режиму. Для цього вогневого впливу визначено залежності необхідної мінімальної товщини вогнезахисту від параметрів різних систем вогнезахисту, а також дані щодо величин цієї товщини для сталевих конструкцій з певними типами систем вогнезахисту і вогнезахисних матеріалів. Водночас в розглянутих результатах немає даних, які стосуються мінімальної товщини вогнезахисту, необхідної для збереженості вогнестійкості сталевих конструкцій, які мають різні значення коефіцієнта поперечного перерізу і проектної температури сталі, для вогневого впливу за іншими ніж стандартний номінальними температурними режимами – за температурних режимів вуглеводневої і зовнішньої пожежі.

Висновки. За результатами проведеного дослідження встановлено наступне.

1. Відповідно до європейських і національних основоположних стандартів і державних будівельних норм класифікацію за вогнестійкістю несучих конструкцій без огорожувальних функцій, таких як балок і колон, здійснюють тільки за стандартного температурного режиму. Також тільки для цього температурного режиму пожежі наведено вимоги до вогнестійкості зазначених несучих конструкцій. Водночас в Єврокодах 1, 3 і національних стандартах передбачено проведення оцінювання вогнестійкості таких сталевих конструкцій також за температурними режимами вуглеводневої і зовнішньої пожежі.

2. Методи визначення необхідної мінімальної товщини вогнезахисту для сталевих конструкцій регламентовано в європейських і національних стандартах тільки для умов вогневого впливу за стандартного температурного режиму. Процедура оцінювання цієї товщини для умов вогневого впливу за температурними режимами вуглеводневої і зовнішньої пожежі є невизначеною.

3. Результати досліджень, наведені в різних джерелах інформації, дають змогу обґрунтовано підходити до визначення необхідної мінімальної товщини вогнезахисту сталевих конструкцій для сценарію умовної пожежі при вогневому впливі за стандартного температурного режиму. Вони містять залежності між необхідною мінімальною товщиною вогнезахисту і параметрами різних систем вогнезахисту, а також дані щодо значення цієї товщини для сталевих конструкцій, оснащених певними типами вогнезахисних матеріалів, отримані для умов вогневого впливу за стандартного температурного режиму. Невизначеним є питання стосовно залежностей і даних щодо необхідної мінімальної товщини вогнезахисту для сталевих конструкцій, які стосуються вогневого впливу за іншими ніж стандартний номінальними температурними режимами пожежі, а також даних щодо співвідношення між

значеннями цієї товщини, отриманими за різними номінальними режимами. Така невизначеність породжує потенційно цікаві напрями подальших досліджень, які орієнтовані на виявлення впливу номінальних температурних режимів пожежі на необхідну мінімальну товщину вогнезахисту для таких сталевих конструкцій, як балки і колони, для широких діапазонів змінювання теплофізичних властивостей застосованих вогнезахисних матеріалів, критичної температури сталі, коефіцієнта поперечного перерізу і проміжку часу збереженості вогнестійкості сталевих конструкцій. Зазначені дослідження дозволять:

– визначити залежності необхідної мінімальної товщини вогнезахисту для таких сталевих конструкцій, як балки і колони, від параметрів їх систем вогнезахисту й температурного режиму умовної пожежі;

– виявити закономірності у співвідношеннях між значеннями необхідної мінімальної товщини вогнезахисту для зазначених сталевих конструкцій, отриманими для умов вогневого впливу за різними номінальними температурними режимами пожежі;

– визначити значення необхідної мінімальної товщини систем вогнезахисту з пасивними і реактивними вогнезахисними матеріалами певних торгових марок для умов вогневого впливу за різними номінальними температурними режимами пожежі та виявити закономірності щодо їхнього співвідношення.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. 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.

2. 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.

3. Steel Buildings in Europe. Multi-Storey Steel Buildings. Part 6: Fire Engineering. 83 p.

4. Перельмутер А., Гордєєв В., Горохов Є. *Стан та залишковий ресурс фонду будівельних металевих конструкцій в Україні*. Київ: Видавництво «Сталь», 2002. 166 с.

5. Маладика І., Шкарабура І. Особливості поведінки металевих конструкцій при пожежі. *Ресурс і безпека експлуатації конструкцій, будівель та споруд*: матеріали VIII Міжнародної наукової конференції. Харківський національний університет будівництва та архітектури. Харків, 2017. С. 66–77.

6. EAD 350402-00-1106 Reactive coatings for fire protection of steel elements.

7. EAD 350140-00-1106 Renderings and rendering kits intended for fire resistant applications.

8. EAD 350142-00-1106 Fire protective board, slab and mat products and kits.

9. EN 1363-1:2020 Fire resistance tests – Part 1: General Requirements.

10. EN 1363-2:1999 Fire resistance tests – Part 2: Alternative and additional procedures.

11. Новак С., Дрідж В., Добростан О., Новак М. Вплив теплофізичних властивостей вогнезахисних матеріалів на тепловий стан сталевих колон за стандартного температурного режиму. *Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека*. 2022. № 1 (13). С. 88–110.

12. Голованов В., Крючков Г. Оцінка вогнестійкості сталевих конструкцій у нормованих температурних режимах. *Пожежі та надзвичайні ситуації: запобігання та ліквідація*. 2021. № 3. С. 52–60.

13. Ковальов А., Зобенко Н. Методика попередньої оцінки вогнезахисної здатності покриттів для сталевих конструкцій в умовах температурного режиму вуглеводневої пожежі. Науковий вісник: *Цивільний захист та пожежна безпека*. 2016. № 1 (1). С. 59–65.
14. 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.
15. Круковский П., Новак С., Поклонский В., Еременко С., Фролов Г. *Оценка огнестойкости металлических строительных конструкций и огнезащитной способности покрытий (расчетно-экспериментальный подход)*: коллективная монография. Киев: Издательство ТОВ "Франко Пак", 2021. 148 с.
16. СНиП 2.01.02-85 Противопожарные нормы. М.: АПП ЦИТП, 1985. 13 с.
17. СТ СЭВ 383-87. Пожарная безопасность в строительстве. Термины и определения.
18. Council Directive 89/106/EEC of 21 December 1988 on the approximation of the laws, regulations and administrative provisions of the Member States relating to construction products. *OJ L 40*, 1989. 12 p.
19. 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*, 2011. P. 5–43.
20. Закон України від 02.09.2020 № 850-IX Про надання будівельної продукції на ринку. *Газета «Голос України»*, 2020, № 183.
21. Технічний регламент будівельних виробів, будівель і споруд. *Офіційний вісник України*, 2006 р., № 51, ст. 3415.
22. 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.
23. ДБН В 1.1-7:2016 Пожежна безпека об'єктів будівництва.
24. Communication of the commission with regard to the Interpretative documents of Council Directive 89/106/EEC. *OJ C 62*, 1994. P. 23–72.
25. EN 13501-2:2016 Fire classification of construction products and building elements – Part 2: Classification using data from fire resistance tests, excluding ventilation services. CEN-CENELEC Management Centre: Rue de la Science 23, B-1040 Brussels. 2016. CEN. 79 p.
26. ДСТУ EN 13501-2:2016 Пожежна класифікація будівельних виробів і будівельних конструкцій. Частина 2. Класифікація за результатами випробувань на вогнестійкість, крім складників вентиляційних систем (EN 13501-2:2007+A1:2009, IDT).
27. EN 13381-1:2014 Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members – Part 1: Horizontal protective membranes.
28. EN 13381-2:2014 Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members – Part 2: Vertical protective membranes.
29. EN 1991-1-2:2002/AC:2013. Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-2: General actions – Actions on structures exposed to fire. European committee for standardization. Central secretariat: rue de Stassart, 36, B-1050 Brussels. 2004. CEN. 61 p.
30. ДСТУ-Н Б В.2.6-211:2016. Проектування сталевих конструкцій. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість. Київ: *Мінрегіон України*, 2016. 111 с.
31. EN 1365-3:1999 Fire resistance tests for loadbearing elements – Part 3: Beams.
32. EN 1365-4:1999 Fire resistance tests for loadbearing elements – Part 4: Columns.
33. EN 13381-9:2015 Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members – Part 9: Applied fire protection systems to steel beams with web openings.

34. EN 13381-6:2012 Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members – Part 6: Applied protection to concrete filled hollow steel columns.

35. Калафат К., Вахитова Л. *Аналітичний огляд засобів вогнезахисту сталевих конструкцій 2019–2020*: публікація. Український центр сталевих виробництва, 2020. 200 с.

36. Калафат К., Вахитова Л. *Аналітичний огляд засобів вогнезахисту сталевих конструкцій 2021*: публікація. Український центр сталевих виробництва, 2022. 230 с.

REFERENCES

1. 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].

2. 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].

3. Steel Buildings in Europe. Multi-Storey Steel Buildings. Part 6: Fire Engineering. 83 p. [in English].

4. Perelmuter A., Hordieiev V., Horokhov Ye. Stan ta zalyskovyi resurs fondu budivelnikh metalevykh konstrukttsii v Ukraini. Kyiv: Vydavnytstvo «Stal», 2002. 166 s. [in Ukrainian].

5. Maladyka I., Shkarabura I. Osoblyvosti povedinky metalevykh konstrukttsii pry pozhezhi. Resurs i bezpeka ekspluatatsii konstrukttsii, budivel ta sporud: materialy VIII Mizhnarodnoi naukovoï konferentsii. Kharkivskiy natsionalnyi universytet budivnytstva ta arkhitektury. Kharkiv, 2017. S. 66–77 [in Ukrainian].

6. EAD 350402-00-1106 Reactive coatings for fire protection of steel elements [in English].

7. EAD 350140-00-1106 Renderings and rendering kits intended for fire resistant applications [in English].

8. EAD 350142-00-1106 Fire protective board, slab and mat products and kits [in English].

9. EN 1363-1:2020 Fire resistance tests – Part 1: General Requirements [in English].

10. EN 1363-2:1999 Fire resistance tests – Part 2: Alternative and additional procedures.

11. Novak S., Dridzh V., Dobrostan O., Novak M. Vplyv teplofizychnykh vlastyvostei vohnezakhysnykh materialiv na teplovyi stan stalevykh kolon za standartnoho temperaturnoho rezhymu. Naukovyi visnyk: Tsyvilnyi zakhyst ta pozhezha bezpeka. 2022. № 1 (13). S. 88–110 [in Ukrainian].

12. Golovanov V., Kryuchkov G. Otsenka ognestoïkosti stalnykh konstrukttsii pri normiruemikh temperaturnykh rezhimakh pozhara. Pozhari i chrezvichainie situatsii: predotvrashchenie i likvidatsiya. 2021. № 3. S. 52–60 [in Russian].

13. Kovalov A., Zobenko N. Metodyka poperednoi otsinky vohnezakhysnoi zdatnosti pokryttiv dlia stalevykh konstrukttsii v umovakh temperaturnoho rezhymu vuhlevodnevoi pozhezhi. Naukovyi visnyk: Tsyvilnyi zakhyst ta pozhezha bezpeka. 2016. № 1 (1). S. 59–65 [in Ukrainian].

14. 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].

15. Krukovskij P., Novak S., Poklonskij V., Eremenko S., Frolov G. Otsenka ognestoïkosti metallicheskykh stroitel'nykh konstruktsij i ogneshhitnoj sposobnosti

pokry'tij (raschetno-e'ksperimental'ny'j podkhod): kollektivnaya monografiya. Kiev: Izdatel'stvo TOV "Franko Pak", 2021. 148 s. [in Russian].

16. SNiP 2.01.02-85 Protivopozharny'e normy'. M.: APP CzITP, 1985. 13 s. [in Russian].

17. ST SE`V 383-87. Pozharnaya bezopasnost' v stroitel'stve. Terminy' i opredeleniya [in Russian].

18. Council Directive 89/106/EEC of 21 December 1988 on the approximation of the laws, regulations and administrative provisions of the Member States relating to construction products. *OJ L 40*, 1989. 12 p. [in English].

19. 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*, 2011. P. 5–43 [in English].

20. Zakon Ukrainy vid 02.09.2020 № 850-IX Pro nadannia budivelnoi produktsii na rynku. *Hazeta «Holos Ukrainy»*, 2020, № 183 [in Ukrainian].

21. Tekhnichniy rehlament budivelnykh vyrobiv, budivel i sporud. Ofitsiyni visnyk Ukrainy, 2006 r., № 51, st. 3415 [in Ukrainian].

22. 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].

23. DBN V 1.1-7:2016 Pozhezhna bezpeka ob'ektiv budivnytstva [in Ukrainian].

24. Communication of the commission with regard to the Interpretative documents of Council Directive 89/106/EEC. *OJ C 62*, 1994. P. 23–72 [in English].

25. EN 13501-2:2016 Fire classification of construction products and building elements – Part 2: Classification using data from fire resistance tests, excluding ventilation services. CEN-CENELEC Management Centre: Rue de la Science 23, B-1040 Brussels. 2016. CEN. 79 p. [in English].

26. DSTU EN 13501-2:2016 Pozhezhna klasyfikatsiia budivelnykh vyrobiv i budivelnykh konstruktsii. Chastyna 2. Klasyfikatsiia za rezultatamy vyprobuvan na vohnestiikist, krim skladnykiv ventyliatsiinykh system (EN 13501-2:2007+A1:2009, IDT) [in Ukrainian].

27. EN 13381-1:2014 Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members – Part 1: Horizontal protective membranes [in English].

28. EN 13381-2:2014 Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members – Part 2: Vertical protective membranes [in English].

29. EN 1991-1-2:2002/AC:2013. Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-2: General actions – Actions on structures exposed to fire. European committee for standardization. Central ecretariat: rue de Stassart, 36, B-1050 Brussels. 2004. CEN. 61 p. [in English].

30. DSTU-N B V.2.6-211:2016. Proektuvannia stalevykh konstruktsii. Rozrakhunok konstruktsii na vohnestiikist. Kyiv: Minrehion Ukrainy, 2016. 111 s. [in Ukrainian].

31. EN 1365-3:1999 Fire resistance tests for loadbearing elements – Part 3: Beams [in English].

32. EN 1365-4:1999 Fire resistance tests for loadbearing elements – Part 4: Columns [in English].

33. EN 13381-9:2015 Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members – Part 9: Applied fire protection systems to steel beams with web openings [in English].

34. EN 13381-6:2012 Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members – Part 6: Applied protection to concrete filled hollow steel columns [in English].

35. Kalafat K., Vakhitova L. Analiticheskij obzor sredstv ognезashhity` stal`ny`kh konstrukcij 2019–2020: publikacziya. Ukrainskij centr stal`nogo proizvodstva, 2020. 200 s. [in Russian].

36. Kalafat K., Vakhitova L. Analiticheskij obzor sredstv ognезashhity` stal`ny`kh konstrukcij 2021–2022: publikacziya. Ukrainskij centr stal`nogo proizvodstva, 2022. 230 s. [in Russian].

Maksym PUSTOVYI¹ (ORCID: 0000-0003-1434-4296),

Igor MALADYKA¹, PhD in technical sciences, docent (ORCID: 0000-0001-8784-2814),

Serhii NOVAK², PhD in technical sciences, Senior Researcher
(ORCID: 0000-0001-7087-318X),

¹*Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chornobyl Heroes
of National University of Civil Protection of Ukraine*

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

EVALUATION OF THE NECESSARY FIRE PROTECTION THICKNESS FOR STEEL STRUCTURES UNDER DIFFERENT FIRE TEMPERATURE-TIME CURVE

The purpose of the conducted research was to identify unsolved issues regarding the assessment of the required fire protection thickness for steel structures under conditions of fire exposure at different fire temperature-time curve and to determine directions for further research. In order to achieve this goal, the task of determining and analyzing the current requirements for the fire resistance of steel structures, the applicable methods for assessing the fire resistance of these structures and the required thickness of their fire protection, the available data on the significance of this thickness, obtained for different fire temperature-time curve, was solved.

According to the results of the research, it was found that in accordance with European and national standards and state building codes, fire resistance requirements and fire resistance classification of load-bearing structures without enclosing functions, such as beams and columns, are established only for conditions of fire exposure under a standard temperature/time curve. At the same time, Eurocodes 1, 3 and national standards provide for assessing the fire resistance of such steel structures also according to the temperature-time curves of hydrocarbon and external fires. Methods of determining the required minimum thickness of fire protection for steel structures are implemented in European and national standards also only for conditions of fire exposure under a standard temperature/time curve. The procedure for determining this thickness for the conditions of fire exposure according to the temperature-time curves of hydrocarbon and external fires is uncertain. Also uncertain is the issue of dependencies regarding the required minimum thickness of fire protection for steel structures that are subject to fire exposure at other than the standard temperature-time curve, nominal fire temperature-time curves, as well as data on the relationship between the values of this thickness obtained under different nominal temperature-time curves. Such uncertainty gives rise to potentially interesting areas of further research, which are focused on identifying the influence of nominal fire temperature-time curves on the required minimum thickness of fire protection for such steel structures as beams and columns, for wide ranges of changes in the thermophysical properties of applicable fire protection materials, the critical temperature of steel, the cross-section coefficient and the time interval of preservation of fire resistance.

Key words: *fire protection material, fire resistance, fire protection system, steel structure, temperature-time curve, fire protection thickness.*