

УДК 614.841.45

ОЦІНЮВАННЯ ВОГНЕЗАХИСНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ПОКРИТТІВ І ОБЛИЦЮВАНЬ ДЛЯ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ

<https://doi.org/10.33269/nvcz.2021.2.43-53>

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 : novak.s.fire@gmail.com

¹Інститут державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту, Україна

²Наукове-виробниче підприємство «Спецматеріали», Україна

ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 27.09.2021

Пройшла рецензування: 17.11.2021

КЛЮЧОВІ СЛОВА:

вогнестійкість, вогнезахисні властивості, вогнезахисне покриття, вогнезахисне облицювання, клас вогнестійкості, стандартний температурний режим, сталева конструкція

АНОТАЦІЯ

Під час розроблення нової або модернізації наявної рецептури (складу) вогнезахисних матеріалів, призначених для нанесення покриття на сталеві конструкції чи їх облицювання, застосування європейських методів згідно з EN 13381-4:2013 і EN 13381-8:2013 не є прийнятним з економічних причин. За мету ставилось обґрунтування методу оцінювання вогнезахисних властивостей покриттів і облицювань для сталевих конструкцій, що використовувався на етапі їх розроблення або модифікації рецептури (складу). Визначено його складові і процедури, які надають можливість проводити таке оцінювання за значно менших щодо європейських методів витрат на випробування. У цей спосіб здійснено оцінювання вогнезахисних властивостей покриття (на етапі його розроблення) на основі суміші «Термодон ТОП». Визначено напрями подальших досліджень, які орієнтовані на виявлення впливу форми зразків сталевих конструкцій на результати оцінювання вогнезахисних властивостей їхніх покриттів і облицювань.

Постановка проблеми. Одним із способів забезпечення збереженості під час пожежі несучої здатності сталевих конструкцій (колон, балок) є нанесення на їхню поверхню вогнезахисних матеріалів. Типи цих матеріалів встановлено у Європейських оцінювальних документах EAD 350402-00-1106 [1], EAD 350140-00-1106 [2], EAD 350142-00-1106 [3]. Відповідно до них для сталевих конструкцій застосовують пасивні і реактивні вогнезахисні матеріали, які поділено на такі три сімейства: реактивні покриття для вогнезахисту сталевих конструкцій [1]; штукатурки [2]; вогнезахисні панелі, плити та мати [3].

Оцінювання вогнезахисної здатності цих вогнезахисних матеріалів проводять за європейськими стандартами EN 1338 - 4 [4],

EN 13381-8 [5], в яких наведено методи випробування з метою визначення впливу пасивних і реактивних вогнезахисних матеріалів на вогнестійкість сталевих конструкцій, які вони захищають. Випробування виконують на етапі постановки продукції (вогнезахисного матеріалу) до серійного виробництва. Під час розроблення нової або модернізації наявної рецептури (складу) вогнезахисного матеріалу застосування таких методів не є прийнятним з економічних причин. Це пов'язано зі значною вартістю і тривалістю цих випробувань, а також з необхідністю використання для їх проведення великої кількості вогнезахисного матеріалу в конструкції зразків для випробувань. Для зазначених

цілей доцільним є проведення випробувань, які потребують значно менших витрат.

Зважаючи на широке застосування в конструкції будівель сталевих колон і балок та необхідність оцінювання експлуатаційних характеристик їхніх вогнезахисних покриттів, актуальним слід вважати дослідження, спрямовані на подальше удосконалення і розвиток технології систем вогнезахисту цих конструкцій, а також методів оцінювання вогнезахисних властивостей застосовуваних матеріалів на різних етапах їхнього життєвого циклу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Системи пасивного протипожежного захисту відіграють ключову роль в обмеженні кількості загиблих і матеріальних збитків. Їх поділяють на два типи: системи пасивного вогнезахисту та системи реактивного вогнезахисту. Із найбільш поширених способів досягнення належного рівня безпеки життя в будинках є покриття або облицювання сталевих конструкцій найчастіше використовуваними вогнезахисними матеріалами [1–3], до яких належать: вогнезахисні плити, покриття (штукатурки), нанесені напилюванням, і мати [2; 3].

Системи з плит є одними з найбільш широко застосовуваних типів вогнезахисту для сталевих конструкцій [3; 6]. Їх основою зазвичай є шаруватий вермікуліт, який являє собою гідратований силікатний матеріал, що характеризується негорючістю і низькою теплопровідністю. Їх використовують як у разі коли система вогнезахисту повністю видима, так і коли її приховано. Вони забезпечують чистий вигляд виробу у формі коробок; іншою їх перевагою є те, що вони являють собою сухі вироби і не можуть значною мірою впливати на інші види діяльності, виконувані на об'єкті. Крім того, плити є виробами заводського виробництва, їх товщина може бути гарантованою і їх можна кріпити на нефарбовані сталеві конструкції. З іншого боку, система з плит може бути порівняно дорогою через

складність її нанесення на елементи складної форми, а також довготривалий процес її нанесення. Крім того, мають місце проблеми з їх стійкістю в агресивних середовищах, і вони схильні до втрати цілісності під час довготривалої експлуатації, а їх нанесення на каркас здійснюють приховано [6].

Пасивні вогнезахисні матеріали (штукатурки на основі цементу, глин, інших мінеральних сполук; вироби на основі мінеральних волокон) також використовують для вогнезахисту сталевих конструкцій [2; 6]. Вони належать до найдешевших форм вогнезахисту з огляду на витрати під час нанесення і застосовність у разі складних форм та елементів, що є не такою широкою, як для систем із плит [6]. Головні причини полягають в тому, що вони непридатні для забезпечення естетичного зовнішнього вигляду, а також існує потреба нанесення їх у вологому вигляді: програма будівництва має враховувати час, необхідний для висихання, і це може вплинути на інші види діяльності, виконувані на об'єкті. Облицювання готового покриття фарбованими металевими коробами може вирішити естетичну проблему, а також надати можливість здійснювати миття вогнезахисних колон за необхідності [7].

Іншим рішенням щодо пасивного вогнезахисту сталевих конструкцій є нанесення систем із гнучких матів: сталеву конструкцію обгортають (облицювають) матеріалом, що має низьку теплопровідність, який зазвичай виготовляють з мінеральної вати [3; 6]. Їх було розроблено у відповідь на потребу щодо дешевого вогнезахисного матеріалу, який можна легко наносити та використовувати в сухому вигляді на вироби та конструкції складної форми.

У системах реактивного вогнезахисту більшість покриттів, що спучуються, наносять на об'єктах або поза їх межами [1; 6]. Покриття, що спучуються, подібні до фарб, які збільшуються в об'ємі під час нагрівання, утворюючи звуглений шар з відмінними теплоізоляційними

властивостями. Вони можуть бути на водній основі (такі покриття наносять переважно на об'єкті), або на основі органічного розчинника (такі препарати домінують на ринку покриттів, які наносять поза межами об'єктів) [6]. У разі нанесення на об'єкті такі покриття можуть використовуватись в декоративних цілях, хоча це може коштувати дорожче. Утворення покриттів, що мають естетичний зовнішній вигляд, можливе також у разі їх нанесення поза межами об'єкта, але це проблематичніше через складність усунення на об'єкті можливого пошкодження вогнезахисного покриву сталевій конструкції. Ці пошкодження покриття можуть призвести до значного зниження вогнестійкості сталевій конструкції. Наприклад, втрата вогнезахисту на 4 % площі призводить до зниження на 15 % вогнестійкості колони W10 × 49 з класом R 60 і зниження на 40 % вогнестійкості колони W10 × 49 з класом R 120 [8]. Покриття, що спучуються, наносять у вологому стані. Це потребує відповідних атмосферних умов під час нанесення, а також вжиття заходів щодо недопущення розпилювання рідини за межі сталевій конструкції, яку захищають. Іншим недоліком, пов'язаним із використанням цієї системи вогнезахисту, є обмежений проміжок часу забезпечення вогнестійкості сталевих конструкцій: для більшості покриттів, що спучуються, він не перевищує 60 хв [9; 10]. В той же час застосування пасивних матеріалів забезпечує вогнестійкість сталевих конструкцій протягом проміжку часу до 240 хвилин [9; 11].

У сучасній практиці виробники засобів для нанесення вогнезахисних покриттів і облицювань зазвичай надають інженерам-будівельникам таблиці для використання під час проектування вогнезахисту для сталевих конструкцій. В них вказують необхідну мінімальну товщину покриття або облицювання для гарантування того, що температура сталевій конструкції залишиться нижчою за задану проєктну температуру протягом заданого проміжку

часу вогневого впливу, впродовж якого має зберігатися несуча здатність цієї конструкції. Для забезпечення належного вогнезахисту з наданих таблиць вибирають найбільш прийнятну товщину з огляду на такі входні параметри, як нормований клас вогнестійкості, коефіцієнт поперечного перерізу сталевій конструкції і критична температура сталі.

Слід зауважити, що зазначені вище таблиці складають за результатами випробувань, які отримують за європейськими методами відповідно до EN 13381-4 (для пасивного вогнезахисту) або EN 13381-8 (для реактивного вогнезахисту). Реалізація цих методів потребує значних витрат на випробування і значної кількості вогнезахисного матеріалу на створення зразків. Згідно з ними короткі ненавантажені сталеві конструкції (колони або балки довжиною 1,0 м, в кількості від 12 до 32, залежно від сфери застосування результатів), захищені системою вогнезахисту, дві навантажені і дві ненавантажені захищені балки або колони піддають випробуванню в печі в умовах вогневого впливу за стандартного температурного режиму. Для цього використовують печі зі значними розмірами вогневої камери, зазвичай 3000 мм x 3000 мм x 1500 мм. Упродовж випробування вимірюють температуру конструкцій у ряді точок їхньої сталевій поверхні. За експериментальними даними отримують таблиці з визначеними значеннями необхідної мінімальної товщини вогнезахисного покриття або облицювання [4; 5].

Застосування цих європейських методів випробувань необхідне для впровадження серійного виробництва вогнезахисних матеріалів, проте на етапі розроблення або модифікації їх рецептури (складу) через значні витрати на випробування і створення зразків не є прийнятним. Це можна виправити за рахунок зменшення кількості та розмірів зразків для випробувань, змінення їх форми і застосування печей з меншими розмірами вогневої камери. Недостатня визначеність

складових і процедур методу, за якого оцінювання вогнезахисних властивостей покриттів та облицювань для сталевих конструкцій можна проводити зі зменшеними витратами, зумовлює необхідність проведення дослідження в цьому напрямі.

Мета дослідження. За мету ставилось обґрунтування методу оцінювання вогнезахисних властивостей покриттів і облицювань для сталевих конструкцій, прийнятого для застосування на етапі їх розроблення або модифікації їх рецептури (складу).

Для досягнення зазначеного вище було поставлено такі завдання:

- визначити складові і процедури методу оцінювання вогнезахисних властивостей покриттів і облицювань для сталевих конструкцій, застосування яких потребує значно менших щодо європейських методів витрат на випробування;

- провести за цим методом оцінювання вогнезахисних властивостей покриття для сталевих конструкцій на етапі розроблення його рецептури (складу).

Методи дослідження. Для вирішування поставлених завдань застосовано аналітичний метод, який полягає у розгляді і вивченні положень європейських стандартів EN 13381-4 [4], EN 13381-8 [5] та національних стандартів України ДСТУ Б В.1.1-4 [12], ДСТУ-Н-П Б В.1.1-29 [13], ДСТУ-Н Б EN 1993-1-2 [14], ДСТУ-Н Б В.2.6-211 [15], які встановлюють експериментальні та розрахункові процедури оцінювання вогнезахисних властивостей покриттів і облицювань для сталевих конструкцій, а також експериментальний метод, який полягає у визначенні даних щодо температури сталевих пластин із вогнезахисним покриттям в умовах вогневого впливу за стандартного температурного режиму.

Виклад основного матеріалу. Визначення складових і процедур методу оцінювання вогнезахисних властивостей покриттів і облицювань для сталевих

конструкцій, прийнятого для застосування на етапі розроблення або модифікації їх рецептури (складу), проведено на основі положень європейських стандартів [4; 5] та національних стандартів України [12–15]. Цей метод має дві складові – експериментальну і розрахункову. В експериментальній частині проводять вимірювання температури зразків сталевих конструкцій, оснащених вогнезахистом, в умовах вогневого впливу за стандартного температурного режиму [12]. Для виготовлення цих зразків використовують сталеві пластини завтовшки 5 мм квадратної форми зі стороною 500 мм, теплоізольовані з їх необігрівної поверхні [13]. Товщина вогнезахисного покриття або облицювання (далі – покриття), нанесеного на обігрівну поверхню сталевієї пластини, має бути однаковою для всіх зразків. Змінними параметрами вогнезахисного покриття на обігрівній поверхні сталевих пластин можуть бути тип наповнювача, тип в'язучого, вміст складових суміші, спосіб нанесення покриття тощо. Для кожного зразка за отриманими експериментальними даними для кожного проміжку часу t_j вимірювання визначають температуру θ_{aj} , як середнє арифметичне значення показників термопар, які розташовано на необігрівній поверхні сталевієї пластини. За даними щодо температури θ_{aj} визначають значення проміжку часу t_D до досягнення проєктної температури θ_D в діапазоні від 350 °C до 600 °C з кроком 50 °C для всіх зразків, що досліджують. Водночас значення проміжку часу t_D визначають з урахуванням відмінності початкової температури θ_0 сталевієї пластини під час експерименту від її номінальної початкової температури, яка становить 20 °C [16]. Порівнюють значення проміжку часу t_D , отримані для різних зразків, і визначають зразок, для якого ця величина найбільша. Параметри вогнезахисного покриття, нанесеного на обігрівну поверхню сталевієї пластини у цьому зразку, приймають за базові (вважають їх найкращими з тих, які досліджували). Виготовляють два додаткові зразки, у яких застосовують покриття з

базовими параметрами для нанесення на обігрівну поверхню сталевієї пластини завтовшки 5 мм квадратної форми зі стороною 500 мм. Відмінність цих додаткових зразків від базового зразка полягає в тому, що значення товщини покриття в них є різними і не відповідають товщині покриття базового зразка. Здійснюють вимірювання температури цих додаткових зразків в умовах вогневого впливу за стандартного температурного режиму і визначають значення проміжку часу t_D до досягнення проєктної температури θ_D в діапазоні від 350 °C до 600 °C з кроком 50 °C.

Проводять апроксимацію даних щодо проміжку часу t_D , отриманих для базового і додаткових зразків, застосовуючи рівняння числової лінійної регресії (1), яке встановлює залежність між проміжком часу досягнення проєктної температури і товщиною вогнезахисного покриття, і визначають значення чотирьох констант $a_0 - a_3$ цього рівняння.

$$t_D = a_0 + a_1 d_p + a_2 \theta_D + a_3 d_p \theta_D, \quad (1)$$

де d_p – товщина вогнезахисного покриття, мм;
 θ_D – проєктна температура, °C;
 a_0, a_1, a_2, a_3 – константи (коефіцієнти регресії).

За отриманими значеннями коефіцієнтів регресії і формулою (2) за необхідності визначають прогнозовану величину товщини d_p покриття або облицювання, за якої забезпечується нормований клас вогнестійкості сталевієї конструкції (колон, балки).

$$d_p = \frac{t_{fi,requ} - a_0 - a_2 \theta_{cr}}{a_1 + a_3 \theta_{cr}}, \quad (2)$$

де $t_{fi,requ}$ – проміжок часу, який відповідає нормованому класу сталевієї конструкції за вогнестійкістю, хв;
 θ_{cr} – критична температура сталі, значення якої визначають за [14; 15], °C.

Результати розрахунку за цією формулою є дійсними для сталевих конструкцій (колон, балок), які мають коефіцієнт поперечного перерізу A_m/V не більший ніж 200 м⁻¹ [4; 5], і для прогнозованої товщини d_p , яка не

перевищує максимального значення товщини на базовому і додаткових зразках.

У подальшому у разі ухвалення рішення за отриманими результатами оцінювання вогнезахисних властивостей покриття або облицювання для сталевих конструкцій щодо його постановки на серійне виробництво проводять випробування за європейськими стандартами EN 13381-4 [4] або EN 13381-8 [5]. Водночас отримані під час оцінювання величини коефіцієнтів регресії можуть бути застосовані для визначення значень товщини покриття або облицювання на зразках для випробування за цими стандартами.

За зазначеним методом проведено оцінювання вогнезахисних властивостей покриття, яке розроблюють на основі суміші «Термодон ТОП» (призначеного для вогнезахисту деревини), що складається з керамічних мікросфер, легких мінеральних наповнювачів і синтетичного в'язучого [17]. Склад сумішей, які застосовували для нанесення вогнезахисного покриття в експериментальних зразках, наведено в табл. 1, де змінними параметрами є тип наповнювача, тип в'язучого, вміст складових суміші тощо. Технологія нанесення сумішей на поверхню сталевих пластин була однаковою для всіх зразків (нанесення здійснювали методом наливу). Експериментальні зразки встановлювали у прорізі опорної конструкції (стіни) печі, яка має такі розміри вогневої камери: ширину 650 мм, висоту 730 мм і глибину 850 мм. Проводили вимірювання температури зразків в умовах вогневого впливу за стандартного температурного режиму. Отримані залежності температури зразків наведено на рис. 1. Для кожного зразка визначали значення проміжку часу t_D до досягнення проєктної температури θ_D в діапазоні від 350 °C до 600 °C з кроком 50 °C (табл. 2). Із аналізу даних, наведених у таб. 2, випливає, що найбільші значення проміжку часу t_D мають місце для зразків № 1 і № 3. Водночас у діапазоні проєктної температури від 350 °C до 500 °C проміжок часу t_D більший для зразка № 3, а в діапазоні

від 500 °С до 600 °С – більший для зразка № 1. Ураховуючи те, що технологія створення покриття для зразка № 3 значно складніша, ніж для зразка № 1, через

застосування склополотна, за базовий (з найкращими параметрами з тих, які досліджували) було прийнято зразок № 1

Таблиця 1 – Параметри експериментальних зразків

№ зразка	Склад суміші для нанесення вогнезахисного покриття	Товщина покриття d_p , мм
1	Мікросфери зольні порожнисті (вміст у суміші $\approx 45\%$), легкі мінеральні наповнювачі, розчин вінілацетатного сополімера (вміст у суміші $\approx 5\%$)	13,97
2	Мікросфери зольні порожнисті (вміст у суміші $\approx 45\%$), легкі мінеральні наповнювачі, редиспергований вінілацетатний сополімер (вміст у суміші $\approx 5\%$)	14,03
3	Мікросфери зольні порожнисті (вміст у суміші $\approx 45\%$), легкі мінеральні наповнювачі, розчин вінілацетатного сополімера (вміст у суміші $\approx 5\%$). Суміш наносили на склополотно ИПС-Т-1000 завтовшки 6 мм, яке попередньо наклеювали на поверхню сталевієї пластини	13,94
4	Наповнювач із вермикуліту (вміст у суміші $\approx 25\%$), редиспергований вінілацетатний сополімер (вміст у суміші $\approx 5\%$)	13,99
5	Наповнювач із перліту (вміст у суміші $\approx 30\%$), суміш каоліну і розчину вінілацетатного сополімера	13,57

Джерело: розроблено авторами

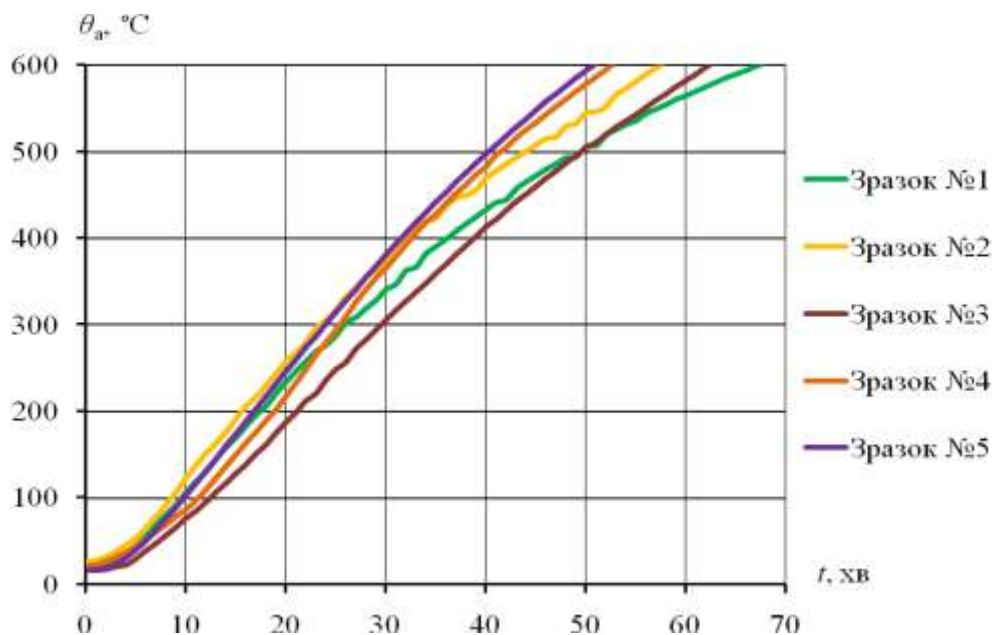


Рисунок 1 – Залежності температури зразків θ_a від тривалості вогневого впливу t за стандартного температурного режиму

Джерело: розроблено авторами

Таблиця 2 – Значення проміжку часу t_D до досягнення проєктної температури θ_D для зразків №№ 1–5

Проектна температура θ_D , °C	350	400	450	500	550	600
№ зразка	Проміжок часу t_D до досягнення проєктної температури θ_D , хв					
1	31	36	43	50	58	68
2	27	31	37	43	50	57
3	35	39	44	50	56	63
4	29	32	37	41	47	52
5	28	32	36	41	46	51

Джерело: розроблено авторами

Таблиця 3 – Значення проміжку часу t_D залежно від товщини покриття d_p

Проектна температура θ_D , °C	350	400	450	500	550	600
Товщина покриття d_p , мм	Проміжок часу t_D до досягнення проєктної температури θ_D , хв					
0	4	4	5	5	6	7
13,97	31	36	43	50	58	68
23,06	48	55	63	72	81	92
32,50	71	81	91	102	115	128

Джерело: розроблено авторами

Із застосуванням такої ж суміші, яка була у зразку № 1 (табл. 1), виготовляли два додаткові зразки № 1Д і № 2Д з товщиною вогнезахисного покриття, що складає 23,06 мм і 32,50 мм. Проводили вимірювання їх температури в умовах вогневого впливу за стандартного температурного режиму. Для кожного з цих зразків визначали значення проміжку часу t_D до досягнення проєктної температури θ_D в діапазоні від 350 °C до 600 °C з кроком 50 °C. В табл. 3 наведено значення проміжку часу t_D , які отримані для цих додаткових зразків ($d_p = 23,06$ мм і $d_p = 32,50$ мм) і для базового зразка

($d_p = 13,97$ мм). У цій таблиці також надано значення проміжку часу t_D , які мають місце для зразка без вогнезахисного покриття ($d_p = 0$). Їх було визначено із застосуванням залежності температури від тривалості вогневого впливу для стандартного температурного режиму [12].

На рис. 2 наведено залежності проміжку часу t_D від товщини покриття d_p , побудовані за даними табл. 3. Ці залежності мають монотонно зростаючий характер і встановлюють значний вплив товщини покриття на проміжок часу t_D .

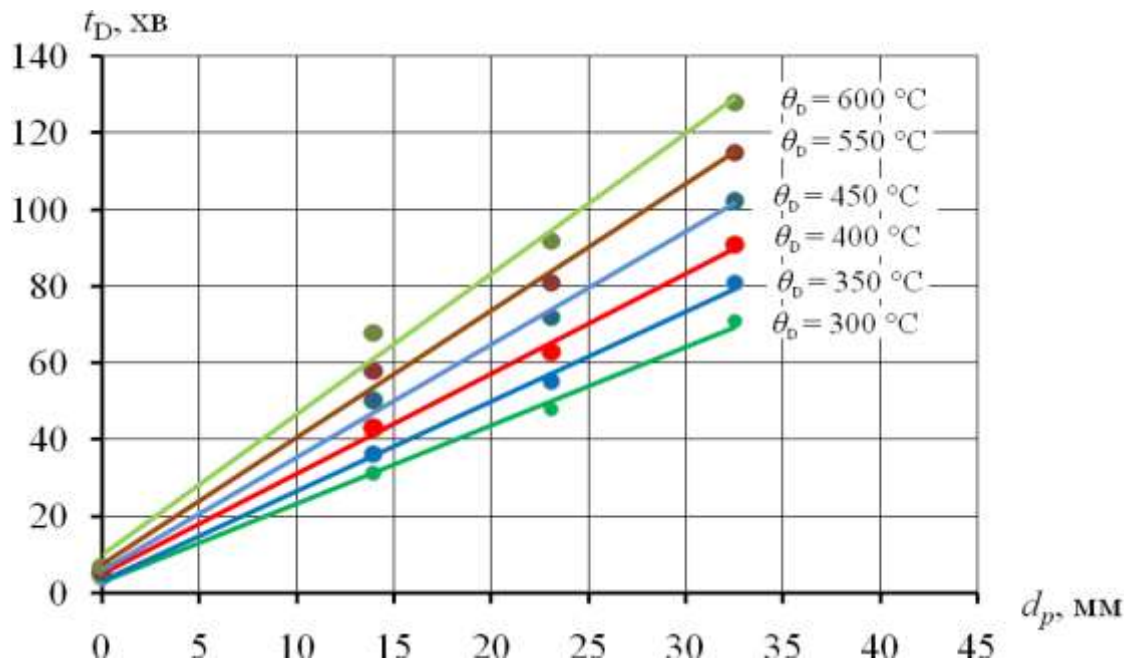


Рисунок 2 – Залежності проміжку часу t_D від товщини покриття d_p і проектної температури θ_D

Джерело: розроблено авторами

За результатами апроксимації даних щодо проміжку часу t_D , наведених в табл. 3, виконаної із застосуванням рівняння (1), визначено коефіцієнти регресії, значення яких становлять: $a_0 = -7,394$; $a_1 = -0,261$; $a_2 = 0,028$; $a_3 = 0,0065$. Розрахунки цих коефіцієнтів регресії здійснено із застосуванням стандартної програми (функції) регресивного аналізу ЛИНЕЙН «Microsoft Excel». Із застосуванням отриманих коефіцієнтів регресії за формулою (2) визначено прогнозовані значення товщини покриття d_p , за яких забезпечуються нормовані класи вогнестійкості сталевих конструкцій для критичної температури сталі $500\text{ }^{\circ}\text{C}$ (табл. 4).

Дані щодо товщини покриття, наведені в табл. 4, є дійсними для сталевих конструкцій, які мають коефіцієнт поперечного перерізу A_m/V не більший ніж 200 м^{-1} [4; 5]. Згідно з їх аналізом значення товщини покриття значно залежить від проміжку часу, який відповідає нормованому класу сталевих конструкцій за вогнестійкістю. Зокрема, з підвищенням

цього проміжку часу від 30 хв до 90 хв товщина покриття збільшується у 3,6 раза.

Таблиця 4 – Значення товщини покриття d_p залежно від класу вогнестійкості сталевих конструкцій

Клас вогнестійкості сталевих конструкцій	Товщина покриття d_p , мм
R 15	2,83
R 30	7,86
R 45	12,90
R 60	17,94
R 90	28,01

Розроблений метод призначений для оцінювання вогнезахисних властивостей покриттів і облицювань для сталевих конструкцій на етапі їх розроблення або модифікації їх рецептури (складу). Однак варто зауважити, що результати оцінювання за цим методом є прийнятними для вогнезахисних покриттів і облицювань, які нанесені на плоскі поверхні сталевих конструкцій. Для вогнезахисних покриттів і облицювань, нанесених на неплоскі

поверхні, не можна виключати можливість отримання інших результатів. Така невизначеність накладає обмеження на використання розробленого методу, що може трактуватися як недоліки цього дослідження. Немоżliвість зняти вказані обмеження в рамках цього дослідження обґрунтовує напрями подальших наукових розвідок, які, зокрема, можуть бути спрямовані на виявлення впливу форми зразків сталевих конструкцій на результати оцінювання вогнезахисних властивостей їх покриттів і облицювань.

Висновки та напрями подальших досліджень. Під час дослідження розроблено метод оцінювання вогнезахисних властивостей покриттів і облицювань для сталевих конструкцій, прийнятний для застосування на етапі їх розроблення або модифікації їх рецептури

(складу). Визначено його складові і процедури, які надають можливість проводити таке оцінювання за значно менших щодо європейських методів [4; 5] витрат на випробування. У такий спосіб проведено оцінювання вогнезахисних властивостей покриття (на етапі його розроблення) на основі суміші «Термодон ТОП» [17], за результатами якого визначено найбільш ефективний склад суміші для його нанесення, залежність між проміжком часу досягнення проєктної температури і товщиною цього вогнезахисного покриття та прогнозовані значення його товщини для нормованих класів вогнестійкості сталевих конструкцій.

Визначено напрями подальших досліджень, які орієнтовані на виявлення впливу форми зразків сталевих конструкцій на результати оцінювання вогнезахисних властивостей їх покриттів і облицювань.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. EAD 350402-00-1106. Reactive coatings for fire protection of steel elements URL : https://www.eota.eu/download?file=/2015/15-35-0402/ead%20for%20ojeu/ead%20350402-00-1106_ojeu2017.pdf (дата звернення : 20.10.2021).
2. EAD 350140-00-1106 Renderings and rendering kits intended for fire resistant applications URL : https://www.eota.eu/download?file=/2014/14-35-0140/ead%20for%20ojeu/ead%20350140-00-1106_ojeu2017.pdf (дата звернення : 20.10.2021).
3. EAD 350142-00-1106. Fire protective board, slab and mat products and kits URL : https://www.eota.eu/download?file=/2014/14-35-0142/ead%20for%20ojeu/ead%20350142-00-1106_ojeu2017.pdf (дата звернення : 20.10.2021).
4. 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.
5. 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.
6. Buchanan A. H. Structural design for fire safety, John Wiley & Sons, 2001. Corus Construction and Industrial. Fire resistance of steel-framed buildings. North Lincolnshire.
7. Новак С. В., Дріжд В. Л., Добростан О. В. Оцінювання вогнезахисної здатності вертикальних вогнезахисних екранів для несучих будівельних конструкцій. *Науковий вісник : Цивільний захист та пожежна безпека*. 2021. № 1(11). С. 44–55.
8. Tomecek D, Milke J. A Study of the Effect of Partial Loss of Protection on the Fire Resistance of Steel Columns. *Fire Technology*. Vol. 29. №. 1. February 1993. P. 3–21.
9. Калафат К. В., Вахитова Л. Н. Каталог средств огнезащиты стальных конструкций 2017 : публикация. Метінвест, 2017. 91 с.
10. Пронин Д. Г. Огнестойкость стальных несущих конструкций : публикация. Аксиом графикс юнион, 2015. 52 с.
11. Вахитова Л. Н., Калафат К. В. Основы огнезащиты стальных конструкций. *Промислове виробництво та інженерні споруди*. 2015. № 2. С. 23–27.
12. ДСТУ Б В.1.1-4-98*. Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги. Київ : Держбуд України, 2005. 19 с.
13. ДСТУ-Н-П Б В.1.1-29:2010. Захист від пожежі. Вогнезахисне оброблення будівельних конструкцій. Загальні вимоги та методи контролювання. Київ : Мінрегіонбуд України, 2011. 9 с.
14. ДСТУ-Н Б EN 1993-1-2:2010. Єврокод 3: Проектування сталевих конструкцій. Частина 1-2. Загальні положення. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість (EN 1993-1-2:2005, IDT). Київ : Мінрегіонбуд України, 2012. 98 с.
15. ДСТУ-Н Б В.2.6-211:2016. Проектування сталевих конструкцій. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість. Київ : Мінрегіон України, 2016. 111 с.
16. Новак С. В., Добростан О. В., Долішній Ю. В., Ратушний О. В. Оцінювання збіжності результатів експериментального визначення тривалості вогневого впливу до досягнення критичної температури сталі. *Науковий вісник : Цивільний захист та пожежна безпека*. 2017. № 2(4). С. 67–72.
17. ТУ У 24.3-13481691-011:2009. Суміші для вогнезахисних та теплоізолюючих покриттів марки «ТЕРМОДОН» (2004). Технічні умови. Донецький центр стандартизації, метрології та сертифікації. 18 с.

REFERENCES

1. EAD 350402-00-1106. Reactive coatings for fire protection of steel elements (2017). URL : https://www.eota.eu/download?file=/2015/15-35-0402/ead%20for%20jeu/ead%20350402-00-1106_jeu2017.pdf [in English].
2. EAD 350140-00-1106. Renderings and rendering kits intended for fire resistant applications (2014). URL : https://www.eota.eu/download?file=/2014/14-35-0140/ead%20for%20jeu/ead%20350140-00-1106_jeu2017.pdf [in English].
3. EAD 350142-00-1106. Fire protective board, slab and mat products and kits (2017). URL : https://www.eota.eu/download?file=/2014/14-35-0142/ead%20for%20jeu/ead%20350142-00-1106_jeu2017.pdf [in English].
4. 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].
5. 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].
6. Buchanan A.H. (2001). Structural design for fire safety, John Wiley & Sons. Corus Construction and Industrial. Fire resistance of steel-framed buildings. North Lincolnshire, 2006. [in English].
7. Novak S. V., Drizhd V. L., Dobrostan O. V. (2021). Otsiniuvannia vohnezakhysnoi zdatsnosti vertykalnykh vohnezakhysnykh ekraniv dlia nesuchykh budivelnnykh konstrukttsii. [Assessment of fire-protective ability of vertical protective members for load-bearing building structures]. Naukovyi visnyk: Tsyvilnyi zakhyst ta pozhezhna bezpeka. 2021. № 1(11). S. 44–55. S. 44–55. [In Ukrainian].
8. Tomecek D., Milke J. (1993). A Study of the Effect of Partial Loss of Protection on the Fire Resistance of Steel Columns. *Fire Technology*. Vol. 29. №. 1. February 1993. P. 3–21. [in English].
9. Calafat K.V., Vakhitova L.N. Catalog of fire protection products for steel structures 2017: publication. Metinvest, 2017. 91 p. [in Russian].
10. Pronin D.G. (2015). Ognestojkost' stal'nykh nesushchih konstruktsij : publikaciya. [Fire resistance of steel load-bearing structures: publication]. Aksiom grafiks yunion. 52 p. [in Russian].
11. Vakhitova L.N., Calafat K.V. (2015) Osnovy ognезashchity stal'nykh konstruktsij. [Fundamentals of fire protection of steel structures]. Promislove virobnytstvo ta inzhenerni sporudi. 2015, № 2. 23–27 p. [in Russian].
12. DSTU B V.1.1-4-98*. Zakhyst vid pozhezhi. Budivelni konstrukttsii. Metody vyprobuvan na vohnestiikist. Zahalni vymohy (2005). [Fire protection. Building constructions. Test methods for firefighters. General requirement]. Kyiv: Derzhbud Ukrainy. 19 p. [In Ukrainian].
13. DSTU-N-P B B.1.1-29:2010. Zakhyst vid pozhezhi. Vohnezakhysne obroblennia budivelnnykh konstrukttsii. Zahalni vymohy ta metody kontroliuvannia. (2011). [Fire protection. Fire-retardant treatment of building structures. General requirements and control methods]. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine 9 p. [In Ukrainian].
14. DSTU-N B EN 1993-1-2:2010. Yevrokod 3: Proektuvannia stalevykhkonstrukttsii. Chastyna 1-2. Zahalni polozhennia. Rozrakhunok konstrukttsii na vohnestiikist (2012). [Eurocode 3: Design of steel structures. Part 1-2. Terms. Calculation of structures for fire resistance] (EN 1993-1-2: 2005, IDT). Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine. 98 p. [In Ukrainian].
15. DSTU-N B B.2.6-211:2016. Proektuvannia stalevykh konstrukttsii. Rozrakhunok konstrukttsii na vohnestiikist. [Design of steel structures. Calculation of structures for fire resistance]. Kyiv: Ministry of Regional Development of Ukraine. 2016. 111 p. [In Ukrainian].
16. Novak S. V., Dobrostan O. V., Dolishniy Y. V., Ratushny O. V. (2017). Otsiniuvannia zbzhnosti rezultativ eksperymentalnoho vyznachennia tryvalosti vohnevoho vplyvu do dosiahnennia krytychnoi temperatury stali [Evaluation of convergence of results of experimental determination of duration of fire influence before achievement of critical temperature of steel]. № 2 (4). P. 67–72. [In Ukrainian].
17. TU U 24.3-13481691-011:2009. Sumishi dlia vohnezakhysnykh ta teploizoliuiuchykh pokryttiv marky «TERMODON» (2004). Tekhnichni umovy. [Mixtures for fire-retardant and heat-insulating coverings of the TERMODON brand. Specifications]. Donetsk Center for Standardization, Metrology and Certification. 18 p. [In Ukrainian].

EVALUATION OF FIRE PROTECTIVE PROPERTIES OF COATINGS AND FACINGS FOR STEEL STRUCTURES

S. Novak¹, V. Drizhd², O. Dobrostan¹

¹*Institute of Public Administration and Research in Civil Protection, Ukraine*

²*Research and Production Enterprise «Spetsmaterialy», Ukraine*

KEYWORDS

fire resistance, fire protective properties, fire protective coating, fire protective facing, fire resistance class, standard temperature regime, steel structure

ANNOTATION

When developing a new or upgrading an existing formulation (composition) of fire protective materials intended for coating or facing steel structures, the use of European methods set out in EN 13381-4: 2013 and EN 13381-8: 2013 is not acceptable for economic reasons. These reasons are related to the significant cost and duration of fire tests, as well as the need to use a large amount of fire protective material in the design of test specimens. For these purposes, it is advisable to conduct tests that require much lower costs.

The conducted research aimed to substantiate the method of evaluation of fire protective properties of coatings and facings for steel structures, acceptable for use at the stage of their development or modification of their formulation (composition). Its components and procedures are defined, which allow to carry out such assessment at much lower test costs compared to the European methods.

The suggested method has experimental and computational components. In the experimental part, the temperature of samples of steel structures equipped with fire protection with the same thickness and different formulation of the coating is measured under fire conditions at standard temperature regime. For the manufacture of these samples square steel plates 5 mm thick with a side of 500 mm, insulated from their unheated surface, were used. Based on fire test results, the basic sample with the best fire protective properties was determined.

Time interval t_D required to reach the design temperature in the range from 350 °C to 600 °C with 50 °C steps was determined for both basic and additional test samples. The obtained data are approximated with respect to the time interval t_D , using the numerical linear regression equation, which establishes the relationship between the time interval of reaching the design temperature and the thickness of the fire protective coating. According to the obtained values of regression coefficients the predicted value of coating or facing thickness, which provides a normalized class of fire resistance of the steel structure (column, beam), can be determined if necessary.

This method was used to evaluate fire protective properties of the coating based on "Thermodon TOP" formulation (at the stage of its development). According to the results of this evaluation, the most effective composition of the formulation, as well as the relationship between the time of reaching the design temperature and fire protective coating thickness was determined and the predicted values of coating thickness for normalized fire resistance classes of steel structures were calculated.

The directions of further researches were defined: they would focus on revealing the influence of a geometrical form of sample steel structures with coatings and facings on the results of fire protective properties evaluation.