

Р.Б. Веселівський, Р.С. Яковчук, Д.В. Смоляк, В.Л. Петровський

Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна

## МЕТОДИКА ДОСЛІДЖЕННЯ ВОГНЕЗАХИСНОЇ ЗДАТНОСТІ ВОГНЕЗАХИСНОГО ПОКРИТТЯ НА ОСНОВІ ПОЛІСИЛОКСАНУ ТА ОКСИДІВ АЛЮМІНІЮ, ТИТАНУ І ХРОМУ ДЛЯ СТАЛЕВИХ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

*Проаналізовано стандартизовані та альтернативні методики оцінки вогнезахисної здатності покриттів для сталевих будівельних конструкцій. Розроблено методику експериментальних досліджень ефективності вогнезахисних покриттів. Експериментально визначено час прогріву дослідних зразків сталевих пластин з вогнезахисним покриттям на основі полісилоксану та оксидів алюмінію, титану і хрому до критичної температури залежно від товщини покриття і сталеві пластини.*

**Ключові слова:** методика досліджень, стандартний температурний режим, вогнезахисне покриття, сталева будівельна конструкція.

### Постановка проблеми

Пожежі та їх негативні наслідки є великою проблемою сьогодення. Заключний звіт Всесвітнього центру статистики пожеж 2023 року [1] свідчить, що у період з 1993 по 2021 рік в середньому виникало 3,7 млн пожеж щороку. Кількість загиблих внаслідок пожеж налічується десятками тисяч людей, а матеріальні збитки становлять мільярди доларів.

У відсотковому співвідношенні близько 30 % від загальної кількості пожеж виникають та поширюються у будівлях і спорудах виробничого, громадського та житлового призначення. Очевидним є той факт, що найважливіше значення та вплив на розвиток і поширення пожеж в будівлях і спорудах має вогнестійкість будівельних конструкцій, яка повинна враховуватись на етапі проектування. Будівельними нормами як в Україні, так і у світі передбачено, що усі будівельні конструкції, котрі застосовують при зведенні будівель і споруд, повинні мати визначені межі (класи) вогнестійкості. Особливу увагу при застосуванні у будівництві необхідно приділяти саме металевим конструкціям, оскільки їх межа вогнестійкості становить близько 15 хв залежно від профілю та перерізу конструкції, а це, зі свого боку, обмежує їх застосування у будівлях і спорудах, де передбачено клас вогнестійкості конструкцій > REI 15 (ДБН В.1.1-7:2016). Способами підвищення класу вогнестійкості сталеві будівельні конструкції є її вогнезахист [2], що може бути реалізований з використанням спеціальних засобів, які захищають сталеву конструкцію від впливу високих температур пожежі. До таких засобів відносять інтумесцентні (реактивні) вогнезахисні покриття [3, 4] та так звані пасивні вогнезахист, тобто облицювання чи штукатурення будівельних конструкцій негорючими вогнестійкими матеріалами [5, 6].

Тому розроблення нових вогнезахисних речовин та дослідження ефективності їх складів є актуальною науково-технічною задачею.

### Аналіз останніх досліджень і публікацій

Дослідження систем вогнезахисту сталевих будівельних конструкцій сьогодні відіграють важливу роль. Так, з метою визначення впливу елементів конструкцій на вогнестійкість стандартом ДСТУ EN 13381-8:2022 (EN 13381-8:2013, IDT) передбачено процедури оцінювання діапазону значень товщини нанесених реактивних вогнезахисних матеріалів, що включають вогневі випробування набору (від 13 до 38) колон та балок, що, очевидно, є надзвичайно трудомістким та вартісним. Метою такого оцінювання є охоплення діапазону значень товщини нанесеного вогнезахисного матеріалу, діапазону значень площі поперечного перерізу сталевих конструкцій, діапазону значень проектної температури та діапазону забезпечуваних класів за вогнестійкістю. Стандартом ДСТУ-Н-П Б В.1.1-29:2010 попередньо, під час сертифікаційних, типових чи періодичних випробувань (під час розроблення технічних умов на вогнезахисний засіб) передбачено визначення часу прогріву двох сталевих пластин до критичної температури (480 °C від початкового значення). У роботі [7] викладено методику попередньої оцінки вогнезахисної здатності покриттів для сталевих конструкцій розрахунково-експериментальним методом в умовах вогневого впливу за температурного режиму вуглеводневої пожежі. Автором [8] обґрунтовано параметри зразків для експериментального визначення температури сталевих пластин з вогнезахисним покриттям в умовах вогневого впливу за стандартним температурним режимом пожежі. У роботі встановлено, що експерименти на зразках зменшених розмірів доцільно проводити із застосуванням

сталевих пластин, які мають дві товщини (мінімальну 5 мм та максимальну 10 мм), і шару вогнезахисного покриття на них, який має три значення товщини: мінімальне, середнє та максимальне. У роботі [9] проведено серію експериментальних досліджень з визначення температури прогріву вогнезахисних сталевих конструкцій. Як дослідні зразки автори використали зразки зменшених розмірів у вигляді сталеві пластили з нанесеною на обігрівну поверхню вогнезахисною речовиною. На основі отриманих даних розв'язанням обернених задач теплопровідності авторами визначено теплофізичні характеристики вогнезахисного покриття, які в подальшому пропонується використовувати для теплотехнічного розрахунку при нестационарному прогріві вогнезахисних сталевих конструкцій при довільних температурних режимах пожежі. Авторами [10, 11] з використанням електричної печі проведено серію високотемпературних дрібномасштабних випробувань, спрямованих на дослідження впливу гальванізації на температуру сталевих пластин зі змінними коефіцієнтами перерізу ( $A_m/V$ ). Як дослідні зразки, що піддавались стандартному температурному впливу, були використані квадратні сталеві пластили розміром 50x50 мм. У роботі [12] проведено вогневі випробування двох сталевих пластин розмірами 500x500x5 мм із нанесеним вогнезахисним складом, що слухується, та досліджено вплив помилок у вимірюванні температур на необігрівній поверхні сталеві пластили з вогнезахисним покриттям на похибку визначення теплофізичних характеристик.

Зважаючи на трудомісткість та вартість проведення стандартизованих випробувань набору зразків сталевих конструкцій, доцільною є попередня оцінка вогнезахисної ефективності розроблених вогнезахисних покриттів на зразках зменшених розмірів. Отримані значення температур прогріву сталевих пластин дадуть можливість визначити теплофізичні характеристики вогнезахисного покриття та встановити їх залежність від товщини покриття, товщини пластили та критичної температури сталеві конструкції.

З огляду на результати отримані у [13], для екс-

периментального визначення вогнезахисної здатності розробленого покриття для сталевих конструкцій на основі полісилоксану та оксидів алюмінію, титану та хрому пропонується використати метод визначення вогнезахисної здатності вогнезахисних покриттів для будівельних конструкцій з металу, регламентований ДСТУ-Н-П Б В.1.1-29:2010.

## Мета статті

Розробити методикку та визначити час прогріву дослідних зразків сталевих пластин з вогнезахисним покриттям на основі полісилоксану та оксидів алюмінію, титану, хрому [14] до критичної температури залежно від товщини покриття (0,3 мм, 0,45 мм, 0,6 мм, 0,8 мм) та товщини сталеві пластили (0,3 см, 0,5 см, 0,8 см).

## Виклад основного матеріалу

### Методика експериментальних досліджень.

Для визначення вогнезахисної здатності композиції високотемпературного та вогнезахисного покриття на основі полісилоксану та оксидів алюмінію, титану, хрому для сталевих будівельних конструкцій (далі – покриття) використано метод, регламентований п. 7.4 ДСТУ-Н-П Б В.1.1-29:2010.

Сутність методу випробувань полягає у визначенні проміжку часу від початку температурного впливу за стандартним температурним режимом, згідно з ДСТУ Б В.1.1-4-98\*, на квадратну сталеву пластилину зі стороною ( $500 \pm 5$ ) мм з нанесеним засобом вогнезахисту (вогнезахисні фарби, штукатурки та облицювання) до підвищення її температури на 480 °С від початкового значення (критична температура).

Для проведення експериментальних досліджень покриття було використано установку для визначення вогнезахисної здатності (ефективності) вогнезахисних покриттів, принцип роботи якої полягає у нагріванні внутрішнього простору камери установки з використанням електричних нагрівальних елементів. Схему установки представлено на рис. 1.

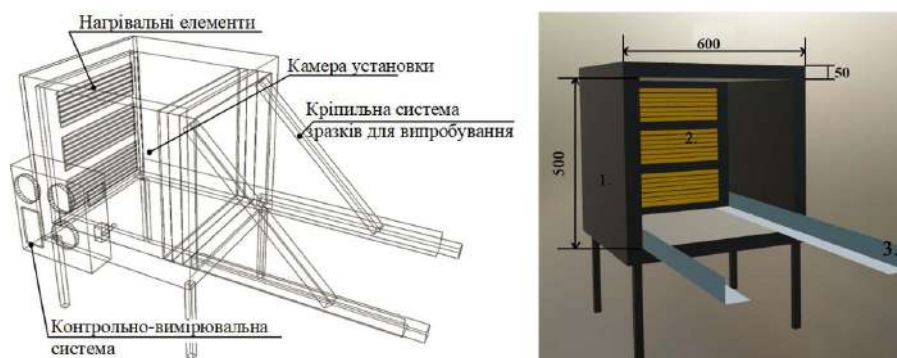


Рис. 1. Конструктивна схема випробувальної установки:

- 1 – корпус теплоізоляційний з вермикулітових плит (товщ. 50 мм), обшитих металевими листами;
- 2 – радіаційна нагрівна панель; 3 – напрямні для встановлення та руху дослідного зразка

Температура у внутрішньому просторі камери контролюється термопарами із фіксацією результатів за допомогою контрольно-вимірювального пристрою. Цей пристрій дозволяє регулювати потужність нагрівальних елементів залежно від температури, забезпечуючи відповідність температурного режиму нагрівання камери установки відповідно до стандартного температурного режиму пожежі. Для контролю температури всередині камери використано дві термопари, одна з яких розташована на відстані 10–15 см від електричних нагрівальних елементів, а друга – на такій ж відстані від дослідного зразка.

Дослідний зразок для випробування закріплюється за допомогою спеціальних кронштейнів, що у сукупності утворюють кріпильну систему. Зразок для випробування являє собою сталеву квадратну пластину (розмір сторони 500 мм) із вогнезахисним покриттям [14] з боку теплового впливу випробувальної камери. З іншого боку зразок ізолюється шарами теплоізолювальних матеріалів згідно зі схемою, поданою на рис. 2.

Для контролю температури з боку необігрівної сторони зразка для випробування встановлені п'ять термопар. На рис. 3 наведено схему розташування термопар (Т1–Т5 – номер термопари).

Експериментальні дослідження проведено із дослідними зразками різної товщини сталеві пластини та товщини вогнезахисного покриття. Виготовлено 11 типів зразків (по два однакових), параметри та характеристики яких наведено у табл. 1.

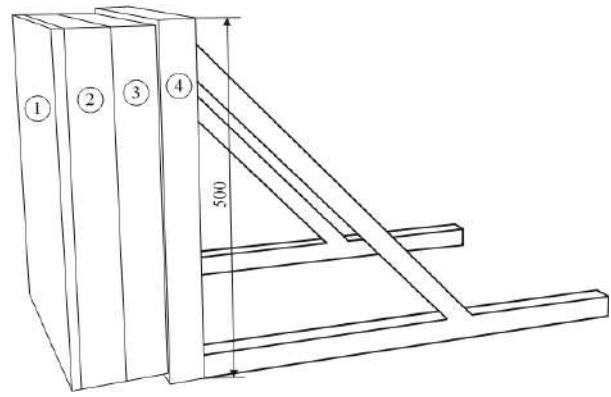


Рис. 2. Конструктивна схема зразка для випробувань: 1 – сталеві пластина (товщ. 3–8 мм); 2 – перлітова плита (товщ. 50 мм); 3 – плита з мінеральної вати (товщ. 40 мм); 4 – каркас напрямної шахти (товщ. 38 мм)

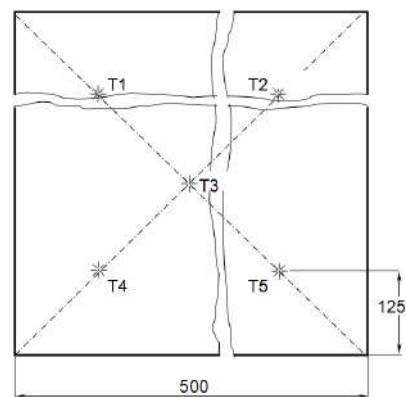


Рис. 3. Схема розташування термопар

Таблиця 1

Номенклатура дослідних зразків

№ зразка	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	
Товщина сталеві пластини, мм	3				5				8			
Товщина покриття, мм	0,3	0,45	0,6	0,8	0,3	0,45	0,6	0,3	0,45	0,6	0,8	

Нанесення вогнезахисного покриття на сталеві пластини проводилось з використанням валика та здійснювалось в опалювальному приміщенні при температурі повітря 18–20 °С. На оброблювальній поверхні пластини була відсутня волога чи конденсат. Досліджуване покриття наносилось пошарово та рівномірно, а товщина мокрого шару становила до 0,5 мм. Час сушіння вогнезахисного покриття перед нанесенням наступного шару становив не менше 1 доби. Повне висихання покриття відбувалось протягом 10 діб. Контроль рівномірності товщини нане-

сеного покриття на сталеві пластини, здійснювався інструментальними методом у 10 рівновіддалених точках, що рекомендовано НАПБ Б.01.012-2019.

**Результати експериментальних досліджень.** Згідно вищезазначеної методики та номенклатури дослідних зразків (табл. 1) було проведено 22 експерименти та встановлено час прогріву сталевих пластин (близнюків) до їх критичної температури прогріву – 480 °С від початкового значення (температура навколишнього середовища – 15–18 °С). Результати експериментів представлено на рис. 4–6.

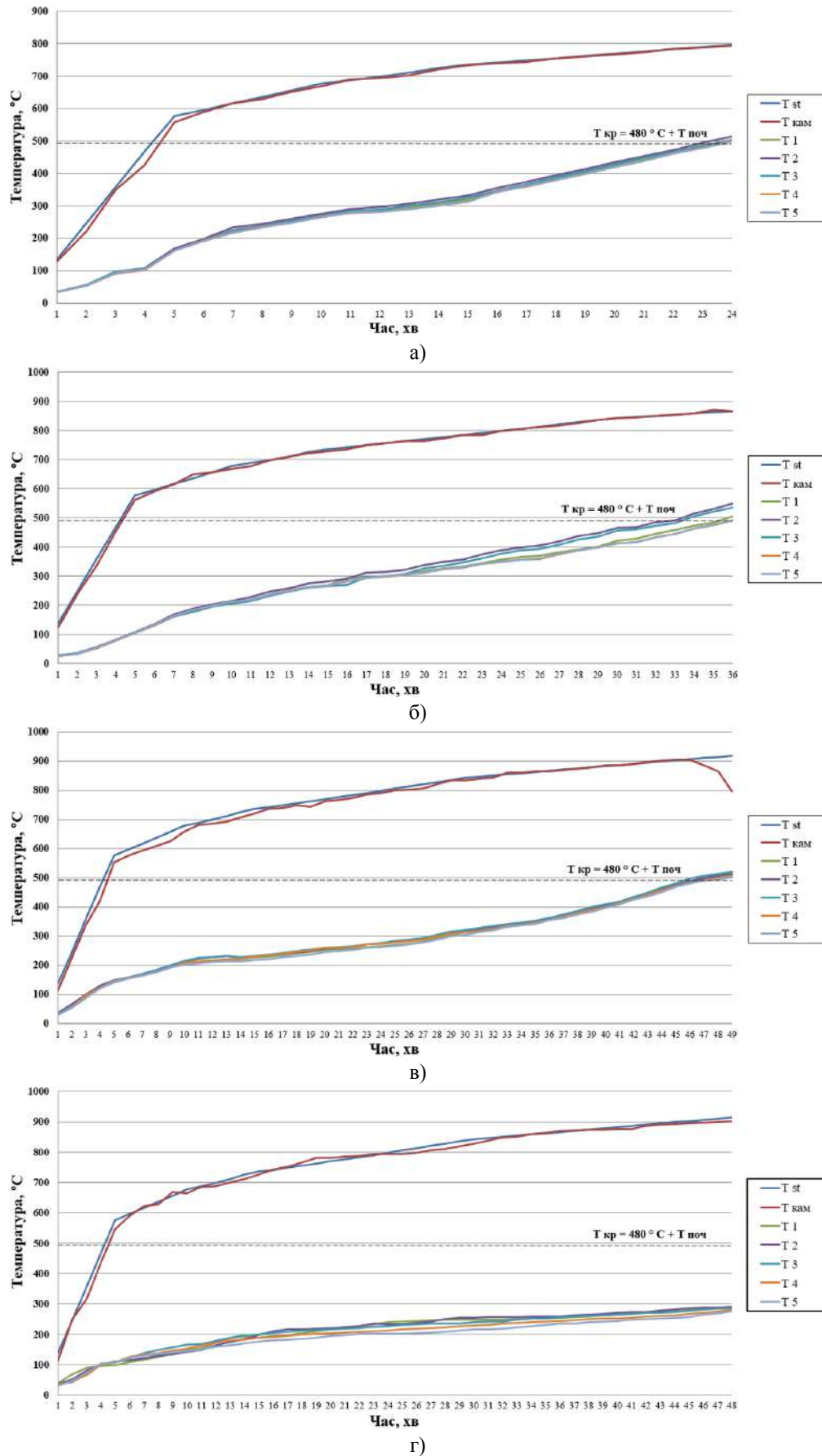
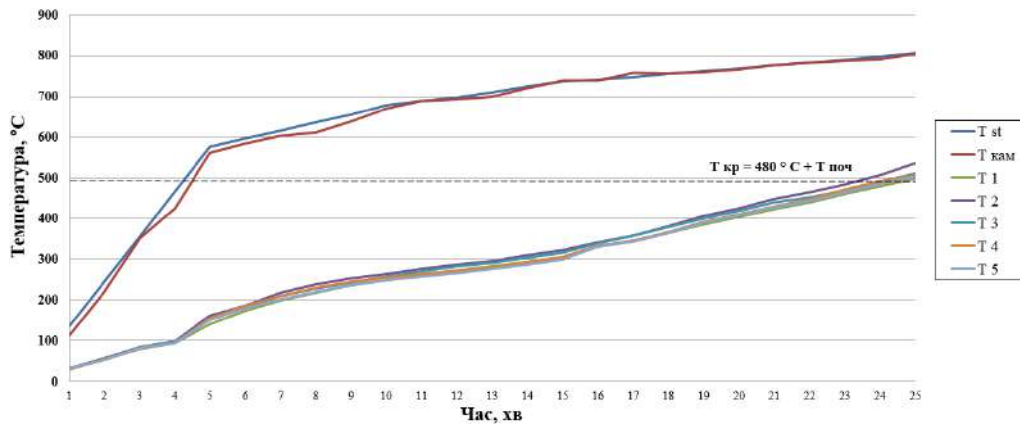
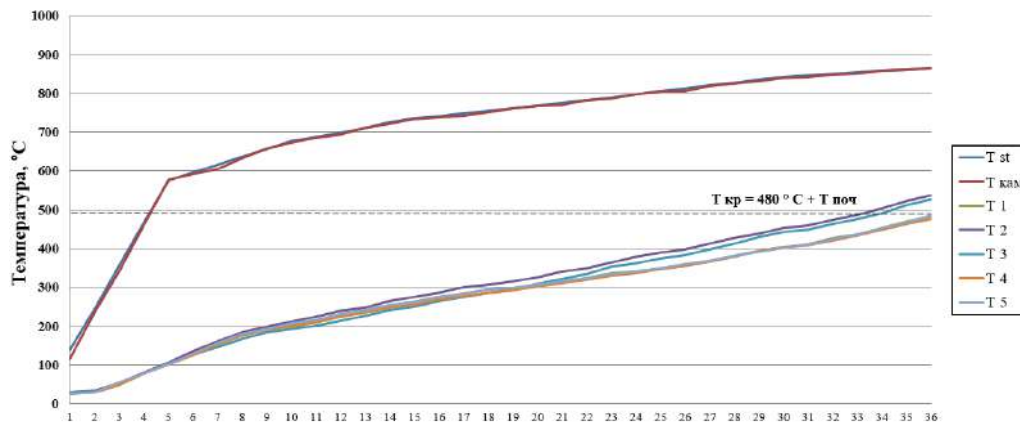


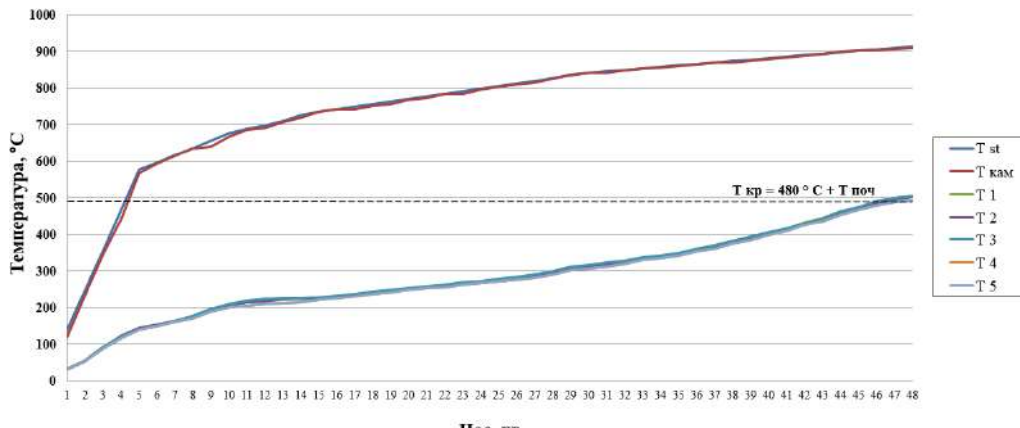
Рис. 4. Розподіли температури по металевій пластині товщиною 0,3 см:  
 а) – при товщині вогнезахисного покриття 0,3 мм; б) – при товщині вогнезахисного покриття 0,45 мм;  
 в) – при товщині вогнезахисного покриття 0,6 мм; г) – при товщині вогнезахисного покриття 0,8 мм



а)



б)



в)

Рис. 5. Розподіли температури по металевій пластині товщиною 0,5 см:  
 а) – при товщині вогнезахисного покриття 0,3 мм;  
 б) – при товщині вогнезахисного покриття 0,45 мм;  
 в) – при товщині вогнезахисного покриття 0,6 мм

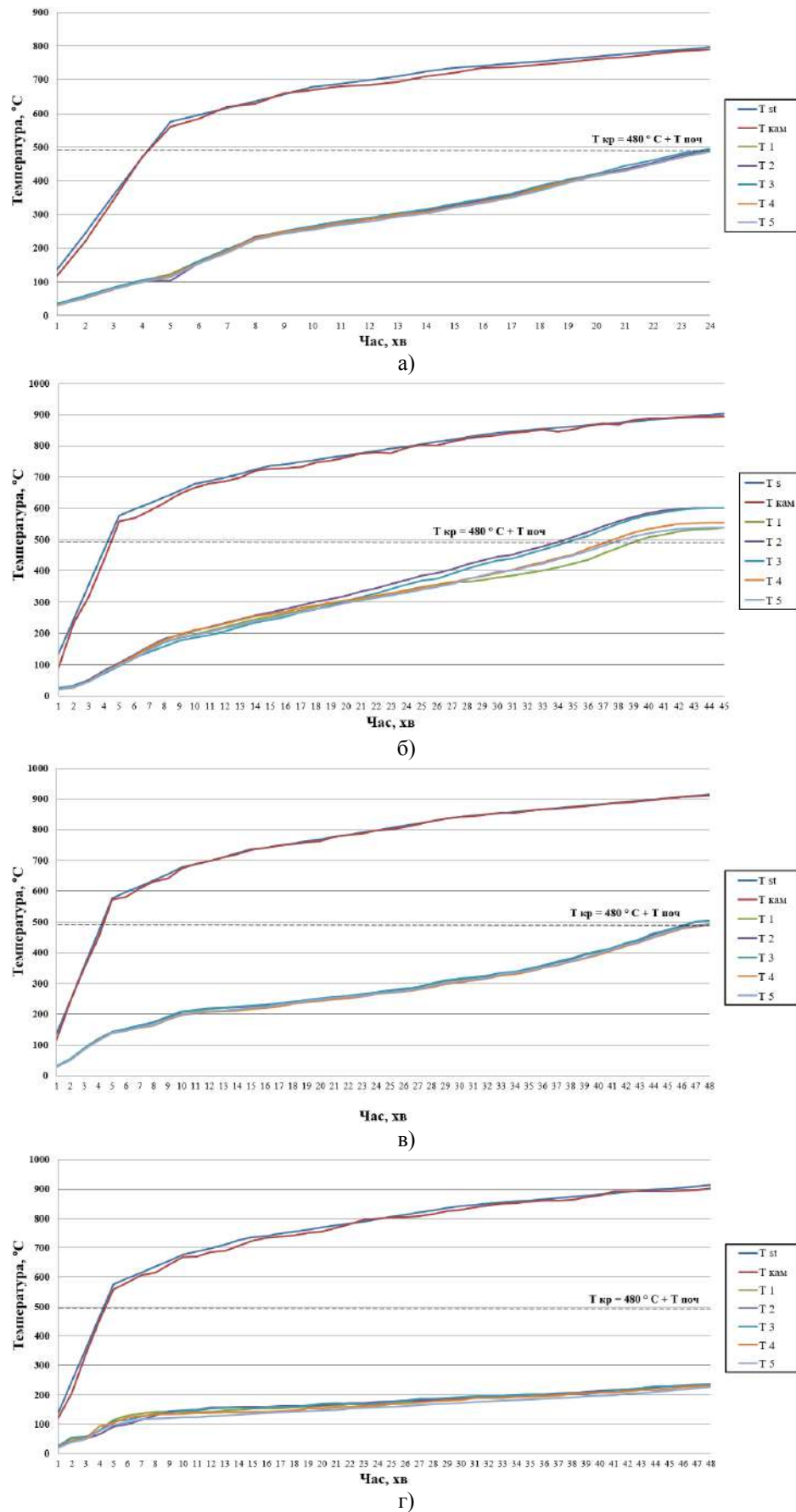


Рис. 6. Розподіли температури по металевій пластині товщиною 0,8 см:  
 а) – при товщині вогнезахисного покриття 0,3 мм; б) – при товщині вогнезахисного покриття 0,45 мм;  
 в) – при товщині вогнезахисного покриття 0,6 мм; г) – при товщині вогнезахисного покриття 0,8 мм

Вигляд дослідного зразка сталеві пластини до та після температурного впливу представлено на рис. 7. Оглядом зразків після випробувань встанов-

лено ефект спучення покриття, його добру адгезію зі сталевими пластинами, а відповідно, ефективність вогнезахисту.



Рис. 7. Вигляд дослідного зразка сталеві пластини товщиною 0,3 см із товщиною вогнезахисного покриття 0,3 мм: а) – до випробувань; б) – після випробувань

Як видно із отриманих результатів прогріву дослідних зразків 1–4, критична температура з необігрівної поверхні сталеві пластини була досягнута при товщині вогнезахисного покриття 0,3 мм – на 23 хв, при товщині покриття 0,45 мм – на 34 хв, при товщині покриття 0,6 мм – на 46 хв. При товщині покриття 0,8 мм середня температура прогріву сталеві пластини товщиною 0,3 см на 48 хвилину становила 284 °С, що значно нижче критичної. Отримані результати дають підстави стверджувати про високу вогнезахисну ефективність розробленого покриття.

Результати прогріву дослідних зразків 5–7 та 8–11 показують, що товщина пластини не суттєво впливає на час досягнення критичної температури на необігрівній поверхні. Так, при збільшенні товщини пластини від 0,3 см до 0,8 см при однакових значеннях товщини вогнезахисного покриття час досягнення критичної температури збільшується орієнтовно на 1 хв.

### Висновки і перспективи подальших досліджень

Досліджено вогнезахисну здатність композиції високотемпературного та вогнезахисного покриття на основі полісиліоксану та оксидів алюмінію, титану, хрому для сталевих будівельних конструкцій за стандартного температурного режиму пожежі, зокрема:

1. Розроблено методику проведення експериментальних досліджень ефективності вогнезахисного покриття з використанням установки для визначення вогнезахисної здатності (ефективності) вогнезахис-

них покриттів, принцип роботи якої полягає у нагріванні внутрішнього простору камери установки з використанням електричних нагрівальних елементів.

2. Визначено час прогріву дослідних зразків сталевих пластин з розробленим вогнезахисним покриттям до критичної температури залежно від товщини покриття та товщини сталеві пластини.

3. Встановлено, що критична температура у сталеві пластини товщиною 0,3 см досягається на 23 хв, 34 хв та 46 хв при товщині покриття – 0,3 мм, 0,45 мм та 0,6 мм, відповідно. Експериментальні дослідження сталевих пластин товщиною 0,5 та 0,8 см показали, що при збільшенні товщини пластини при однакових значеннях товщини вогнезахисного покриття час досягнення критичної температури збільшується орієнтовно на 1 хв. При товщині покриття 0,8 мм для сталевих пластин товщиною 0,3 та 0,8 см критична температура на необігрівній поверхні дослідного зразка не була досягнута.

Зважаючи на отримані результати, актуальним буде розв'язання оберненої задачі теплопровідності для визначення теплофізичних характеристик покриття на основі числових даних експериментальних досліджень. Розв'язок оберненої задачі теплопровідності дасть змогу встановити залежність зміни коефіцієнта теплопровідності та часу досягнення критичної температури у вогнезахисних сталевих конструкціях залежно від товщини вогнезахисного покриття та температури нагріву.

### Література

1. *World Fire Statistics. Report No. 28 / P. Wagner, B. Messerschmidt, N. Brushlinsky, S. Sokolov. – Ljubljana*

(Slovenia) : Center of Fire Statistics, International Association of Fire and Rescue Services (CTIF), 2023. – 102 p.

2. Веселівський Р. Б. Способи вогнезахисту металевих будівельних конструкцій / Р. Б. Веселівський, Д. В. Смоляк // Пожежна безпека. – 2021. – № 39. – С. 63–76. – DOI: [10.32447/20786662.39.2021.08](https://doi.org/10.32447/20786662.39.2021.08).

3. Development of Low Smoke Environmental friendly Fire Retardant Intumescent Coatings for GI and Steel Structures / C. Mehta, A. Kumar, M. K. Tiwari, R. Kumar, M. A. Shoeb // Research Square. – 17 January 2024. – Preprint (Version 1). – DOI: [10.21203/rs.3.rs-3621335/v1](https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3621335/v1).

4. Silicone Resin-Based Intumescent Paints / M. Zielecka, A. Rabajczyk, K. Cygańczuk, Ł. Pastuszka, L. Jurecki. – Materials. – 2020. – Vol. 13, Issue 21. – Article 4785. – DOI: [10.3390/ma13214785](https://doi.org/10.3390/ma13214785).

5. Alkali activated lightweight mortars for passive fire protection: A preliminary study / L. Carabba, R. Moricone, G. E. Scarponi, A. Tugnoli, M. C. Bignozzi // Construction and Building Materials. – 2019. – Vol. 195. – P. 75–84. – DOI: [10.1016/j.conbuildmat.2018.11.005](https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.005).

6. Zehfuß J. Gypsum plasterboards under natural fire—Experimental investigations of thermal properties / J. Zehfuß, L. Sander // Civil Engineering Design. – 2021. – Vol. 3, Issue 3. – P. 62–72. – DOI: [10.1002/cend.202100002](https://doi.org/10.1002/cend.202100002).

7. Ковальов А. І. Методика попередньої оцінки вогнезахисної здатності покриттів для сталевих конструкцій в умовах температурного режиму вуглеводневої пожежі / А. І. Ковальов, Н. В. Зобенко // Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека. – 2016. – № 1 (1). – С. 59–65. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/17998>, вільний (дата звернення: 10.03.2024).

8. Новак С. В. Обґрунтування параметрів зразків для експериментального визначення температури сталевих пластин з вогнезахисним покриттям в умовах вогневого впливу за стандартним температурним режимом пожежі / С. В. Новак // Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека. – 2016. – № 2 (2). – С. 18–24. – Режим доступу: [http://nbuv.gov.ua/UJRN/sbcfps\\_2016\\_2\\_5](http://nbuv.gov.ua/UJRN/sbcfps_2016_2_5), вільний (дата звернення: 10.03.2024).

9. Оцінювання вогнезахисної здатності новостворених вогнезахисних покриттів сталевих конструкцій / А. І. Ковальов, Ю. А. Отрош, В. І. Томенко, О. Б. Васильєв // Вісник Одеської державної академії будівництва та архітектури. – 2021. – № 85. – С. 79–88. – DOI: [10.31650/2415-377X-2021-85-79-88](https://doi.org/10.31650/2415-377X-2021-85-79-88).

10. Experimental investigation on galvanized steel elements at elevated temperature / D. de Silva, M. Autiero, A. Bilotta, E. Nigro // Fire Safety Journal. – 2023. – Vol. 138. – Article 103803. – DOI: [10.1016/j.firesaf.2023.103803](https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.103803).

11. Galvanization effect on steel frames exposed to fire / M. Autiero, D. de Silva, A. Bilotta, E. Nigro // Proceedings of the 12th International Conference on Structures in Fire (SiF 2022), Hong Kong (China), November 30 – December 2, 2022 yr. / ed. by L. Jiang, P. V. Real, X. Huang, M. A. Orabi, J. Qiu, T. Chu, Z. Nan, C. Chen, Z. Wang, A. Usmani. – Hong Kong (China) : The Hong Kong Polytechnic University, 2022. – P. 74–85. – DOI: [10.6084/m9.figshare.22153568](https://doi.org/10.6084/m9.figshare.22153568).

12. Ковальов А. І. Дослідження точності визначення параметрів покриттів для вогнезахисту сталевих конструкцій / А. І. Ковальов // Промислове будівництво та інженерні споруди. – 2017. – № 3. – С. 1–5. – Режим доступу: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/17872>, вільний (дата звернення: 10.03.2024).

13. Веселівський Р. Б. Експериментальні дослідження вогнезахисної здатності вогнезахисного покриття на основі полісилоксану та алюмінію оксиду для сталевих будівельних конструкцій / Р. Б. Веселівський, Д. В. Смоляк // Пожежна безпека. – 2022. – № 41. – С. 31–37. –

DOI: [10.32447/20786662.41.2022.04](https://doi.org/10.32447/20786662.41.2022.04).

14. Композиція для високотемпературного та вогнезахисного покриття : пат. 71300 Україна, МПК C09D 5/18 / М. М. Гивлюд, Д. В. Смоляк (Україна). – № u2011 15337 ; заявл. 26.12.2011 ; опубл. 10.07.2012, Бюл. № 13. – Режим доступу: <https://uapatents.com/4-71300-kompoziciya-dlya-visokotemperaturnogo-ta-vognexakhisnogo-pokrittya.html>, вільний (дата звернення: 10.03.2024).

## References

1. Wagner, P., Messerschmidt, B., Brushlinsky, N., & Sokolov, S. (2023). *World Fire Statistics. Report No. 28*. Center of Fire Statistics, International Association of Fire and Rescue Services (CTIF).
2. Veselivskiy, R. B., & Smoliak, D. V. (2021). Methods of fire protection of metal building structures. *Fire Safety*, (39), 63–76. <https://doi.org/10.32447/20786662.39.2021.08> [in Ukrainian]
3. Mehta, C., Kumar, A., Tiwari, M. K., Kumar, R., & Shoeb, M. A. (2024). *Development of Low Smoke Environmental friendly Fire Retardant Intumescent Coatings for GI and Steel Structures*. Research Square. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-3621335/v1>
4. Zielecka, M., Rabajczyk, A., Cygańczuk, K., Pastuszka, Ł., & Jurecki, L. (2020). Silicone Resin-Based Intumescent Paints. *Materials*, 13(21), 4785. <https://doi.org/10.3390/ma13214785>
5. Carabba, L., Moricone, R., Scarponi, G. E., Tugnoli, A., & Bignozzi, M. C. (2019). Alkali activated lightweight mortars for passive fire protection: A preliminary study. *Construction and Building Materials*, 195, 75–84. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.11.005>
6. Zehfuß, J., & Sander, L. (2021). Gypsum plasterboards under natural fire—Experimental investigations of thermal properties. *Civil Engineering Design*, 3(3), 62–72. <https://doi.org/10.1002/cend.202100002>
7. Kovalov, A. I., & Zobenko, N. V. (2016). Preliminary assessment technique of coating flame retardant capacity for steel structures under hydrocarbon fire temperature conditions. *Scientific bulletin: Civil protection and fire safety*, 1(1), 59–65. <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/17998> [in Ukrainian]
8. Novak, S. V. (2016). Parameters reasoning of samples for experimental determination of the temperature of the steel plates that are fire-retardant coating in conditions of fire exposure under standard temperature fire regime. *Scientific bulletin: Civil protection and fire safety*, 2(2), 18–24. [http://nbuv.gov.ua/UJRN/sbcfps\\_2016\\_2\\_5](http://nbuv.gov.ua/UJRN/sbcfps_2016_2_5) [in Ukrainian]
9. Kovalov, A. I., Otrosh, Yu. A., Tomenko, V. I., & Vasyliov, O. B. (2021). Evaluation of fire-protective ability of newly created fire-protective coatings of steel structures. *Bulletin of Odessa State Academy of Civil Engineering and Architecture*, (85), 79–88. <https://doi.org/10.31650/2415-377X-2021-85-79-88> [in Ukrainian]
10. De Silva, D., Autiero, M., Bilotta, A., & Nigro, E. (2023). Experimental investigation on galvanized steel elements at elevated temperature. *Fire Safety Journal*, 138, 103803. <https://doi.org/10.1016/j.firesaf.2023.103803>
11. Autiero, M., de Silva, D., Bilotta, A., & Nigro, E. (2022). Galvanization effect on steel frames exposed to fire. In L. Jiang, P. V. Real, X. Huang, M. A. Orabi, J. Qiu, T. Chu, Z. Nan, C. Chen, Z. Wang, & A. Usmani (Eds.), *Proceedings of the 12th International Conference on Structures in Fire (SiF 2022)* (pp. 74–85). The Hong Kong Polytechnic University. <https://doi.org/10.6084/m9.figshare.22153568>
12. Kovalov, A. I. (2017). Study of the accuracy of determining the parameters of coatings for fire protection of steel structures. *Promyslove budivnytstvo ta inzhenerni sporudy*, (3), 1–5. <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/17872> [in Ukrainian]



13. Veselivskiy, R. B., & Smoliak, D. V. (2022). Experimental studies of the fire protection ability of fire protection coating based on polysiloxane and aluminum oxide for steel building structures. *Fire Safety*, (41), 31–37. <https://doi.org/10.32447/20786662.41.2022.04> [in Ukrainian]
14. Hyvliud, M. M., & Smoliak, D. V. (2012). *Composition for heat- and fire-resistant coating* (Ukraine Patent No. 71300). The State System of Intellectual Property of Ukraine, State Enterprise “Ukrainian Institute of Intellectual Property”. <https://uapatents.com/4-71300-kompoziciya-dlya-visokotemperaturnogo-ta-vognезakhisnogo-pokryttya.html> [in Ukrainian]

**Рецензент:** д-р техн. наук, проф. В.В. Ковалишин, Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, Україна.

**Автор:** ВЕСЕЛІВСЬКИЙ Роман Богданович  
кандидат технічних наук, доцент, докторант  
денної форми навчання  
Львівський державний університет безпеки  
життєдіяльності  
E-mail – [roman-veselivskuy@yahoo.com](mailto:roman-veselivskuy@yahoo.com)  
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-3266-578X>

**Автор:** ЯКОВЧУК Роман Святославович  
доктор технічних наук, доцент, начальник кафедри  
цивільного захисту та протимінної діяльності  
Львівський державний університет безпеки  
життєдіяльності  
E-mail – [yakovchukrs@ukr.net](mailto:yakovchukrs@ukr.net)  
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5523-5569>

**Автор:** СМОЛЯК Дмитро Володимирович  
старший викладач кафедри спеціально-рятувальної  
підготовки та фізичного виховання  
Львівський державний університет безпеки  
життєдіяльності  
E-mail – [Smolyak.Dmitro@gmail.com](mailto:Smolyak.Dmitro@gmail.com)  
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5458-326X>

**Автор:** ПЕТРОВСЬКИЙ Віталій Львович  
завідувач науково-дослідної лабораторії пожежної  
безпеки  
Львівський державний університет безпеки  
життєдіяльності  
E-mail – [vital.petrovskiy@gmail.com](mailto:vital.petrovskiy@gmail.com)  
ID ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5323-7824>

## METHODOLOGY FOR STUDYING THE FIRE PROTECTION ABILITY OF A FIRE PROTECTION COATING BASED ON POLYSILOXANE AND OXIDES OF ALUMINIUM, TITANIUM, AND CHROMIUM FOR STEEL BUILDING STRUCTURES

R. Veselivskiy, R. Yakovchuk, D. Smoliak, V. Petrovskiy  
Lviv State University of Life Safety, Ukraine

*Fires and their negative consequences are a significant problem today. The final report of the World Fire Statistics Centre in 2023 shows that an average of 3.7 million fires occurred annually between 1993 and 2021. The fire resistance of building structures has paramount importance and influence on the development and spread of fires in buildings and structures, which needs consideration at the design stage. Particular attention should be paid to metal structures when used in construction since their fire resistance limit is about 15 minutes, depending on the profile and cross-section of the structure, and this, in turn, limits their use in buildings and structures where the fire resistance class of structures is REI 15. A way to increase the fire resistance class of a steel building structure is its fire protection implemented using dedicated means that protect the steel structure from the effects of high fire temperatures.*

*The study aims to develop a methodology and determine the heating time of prototypes of steel plates with a fire-retardant coating based on polysiloxane and oxides of aluminium, titanium, and chromium to a critical temperature depending on the coating thickness (0.3, 0.45, 0.6, 0.8 mm) and the thickness of the steel plate (0.3, 0.5, 0.8 cm). To determine the fire protection capacity of the developed fireproof coating, we used the method regulated by clause 7.4 of DSTU-N-P B V.1.1-29:2010 'Fireproof treatment of building structures. General requirements and control methods'.*

*The authors have developed a methodology for conducting experimental studies of the effectiveness of fire protection coatings using an installation for determining the fire protection capacity (effectiveness) of fire protection coatings, the principle of which is to heat the interior of the installation chamber using electric heating elements. The heating time of the prototypes of steel plates with the developed fire protection coating to the critical temperature was determined, depending on the coating thickness and the thickness of the steel plate. We found that the extreme temperature in a steel plate with a thickness of 0.3 cm is reached at 23, 34, and 46 minutes with a coating thickness of 0.3, 0.45, and 0.6 mm, respectively. Experimental studies of steel plates with thicknesses of 0.5 and 0.8 cm have shown that with an increase in plate thickness at the same values of the thickness of the fire protection coating, the time to reach the extreme temperature increases by about 1 minute. At a coating thickness of 0.8 mm, for steel plates with thicknesses of 0.3 and 0.8 cm, the temperature on the unheated surface of the prototype did not reach the extreme value.*

*Given the results obtained, it will be relevant to solve the inverse problem of thermal conductivity to determine the thermal and physical characteristics of the coating based on numerical data from experimental studies.*

**Keywords:** research methodology, standard temperature regime, fire protection coating, steel building structure.