

*А.І. Ковальов, к.т.н., с.н.с., ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗУ,
Н.В. Зобенко, ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗУ,
Ю.А. Отрош, к.т.н., доцент, НУЦЗУ,
І.М. Хмиров, к.психол.н, НУЦЗУ,
О.М. Данілін, НУЦЗУ*

**ТОЧНІСТЬ ВИЗНАЧЕННЯ ПАРАМЕТРІВ
ПОКРИТТІВ СТАЛЕВИХ КОНСТРУКЦІЙ
ПРИ ВУГЛЕВОДНЕВОМУ РЕЖИМІ ПОЖЕЖІ**
(представлено д.т.н. Поздєєвим С.В.)

Досліджено вплив помилок в 10% у вимірюванні температур з необігрівної поверхні сталевієї пластини з вогнезахисним покриттям «Amotherm Steel Wb». Показано, як впливають такі помилки на точність визначення теплофізичних характеристик вказаного покриття. Виявлено вплив похибок на точність визначення характеристики вогнезахисної здатності цього покриття в умовах температурного режиму вуглеводневої пожежі.

Ключові слова: вогнезахисне покриття, характеристика вогнезахисної здатності, температурний режим вуглеводневої пожежі, теплофізичні характеристики, обернена задача теплопровідності.

Постановка проблеми. Забезпечення вогнестійкості сталевих будівельних конструкцій в умовах впливу підвищених температур пожежі за рахунок використання вогнезахисних речовин, які наносяться тонким шаром на поверхню, що захищається є актуальною проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Важливою характеристикою таких покриттів є характеристика вогнезахисної здатності (ХВЗ) покриття, яка визначається як залежність мінімальної товщини вогнезахисного покриття від зведеної товщини сталевієї конструкції, при якій забезпечується необхідна (нормована) межа вогнестійкості конструкції [1], визначена з достовірною точністю та з урахуванням можливих похибок у вимірюванні температури з не обігрівної поверхні сталевієї пластини, які і впливають на точність визначення вказаного параметру.

Питаннями дослідження вогнезахисної здатності покриттів сталевих будівельних конструкцій та впливові похибок у вимірюванні температур на вогнестійкість цих конструкцій займалися і займаються багато відомих вчених, таких як Круковський П.Г., Беліков А.С., Гивлюд М.М., Новак С.В., Довбиш А.В., Качкар Є.В., Цвіркун С.В., Ковальов А.І., Якименко О.П., Половко А.П., Цой А.А., Рибка Є.О., Андронов В.А., Wald F., Valdir Pignatta e Silva, Ivica Voko, Ruirui Sun, Robin Wade, та ін. Так в [2] сталеві конструкції досліджують при стандартному температурному режимі пожежі. Автор роботи [3] пропонує розраховувати товщину вогне-

захисного покриття сталевій конструкції аналітичним методом без врахування похибок у вимірюванні температур. Робота [4] містить посилання на випробування сталевих конструкцій при стандартному температурному режимі та новий спосіб розрахунку несучої сталевій конструкції при цьому режимі. В [5] описується моделювання динамічної та статичної поведінки сталевих будинків під час локального та глобального прогресивного розпаду конструкцій під дією вогню. В роботі [6] також розглядається стандартний температурний режим пожежі. Спроби відтворення температурного режиму, відмінного від стандартного були зроблені в [7–8], проте без урахування можливих похибок при вимірюванні температур.

Таким чином, на сьогоднішній день поза увагою досліджень цих вчених залишилися питання щодо визначення впливу похибок у вимірюванні температур на значення коефіцієнту теплопровідності і питомої об'ємної теплоємності, а в подальшому і на характеристику вогнезахисної здатності вогнезахисних покриттів для захисту таких конструкцій в умовах температурного режиму вуглеводневої пожежі. Тому основна увага авторів буде спрямована на дослідження цього впливу.

Постановка завдання та його вирішення. Метою роботи є дослідити вплив випадкових помилок (10 %) при вимірюванні температур з необігрівної поверхні сталевій пластини, на одну із сторін якої нанесено вогнезахисну речовину, що утворює покриття «Amotherm Steel Wb», на точність визначення теплофізичних характеристик та характеристики вогнезахисної здатності вказаного покриття.

Для досягнення поставленої в роботі мети необхідно було вирішити такі завдання:

– провести аналіз результатів вогневих випробувань сталевих пластин, покритих з однієї поверхні вогнезахисним складом, що досліджується, в умовах температурного режиму вуглеводневої пожежі;

– провести обчислювальний експеримент, що імітує випадкові похибки 10 % у вимірюванні температур з необігрівної поверхні пластини з вогнезахистом;

– дослідити вплив похибок у вимірюванні температур на точність визначення теплофізичних характеристик та характеристики вогнезахисної здатності досліджуваного вогнезахисного покриття.

Для цього використовували результати випробувань, описаних в [9]. Експерименти проводили із застосуванням металевих пластин зі сталі Ст. 3 розмірами 500 мм × 500 мм × 5 мм (рис. 1, а). Вогнезахисне покриття наносили механізованим способом із застосуванням агрегату безповітряного розпилення. Середня товщина покриття склала 0,42 мм. Істотний вплив на точність визначення теплофізичних характеристик вогнезахисних покриттів має точність визначення температур в точках вимірювання, в нашому випадку з необігрівної поверхні сталевій пластини (рис. 1, б). При проведенні експериментальних досліджень згідно [10] існують похибки вимірювань, які враховуються в обчислювальному экс-

перименті шляхом введення в значення середньої температури, отриманої за показниками 3 термопар (рис. 1, б), помилок випадкового характеру 10 %, що відповідають рівню реальних помилок вимірювань.

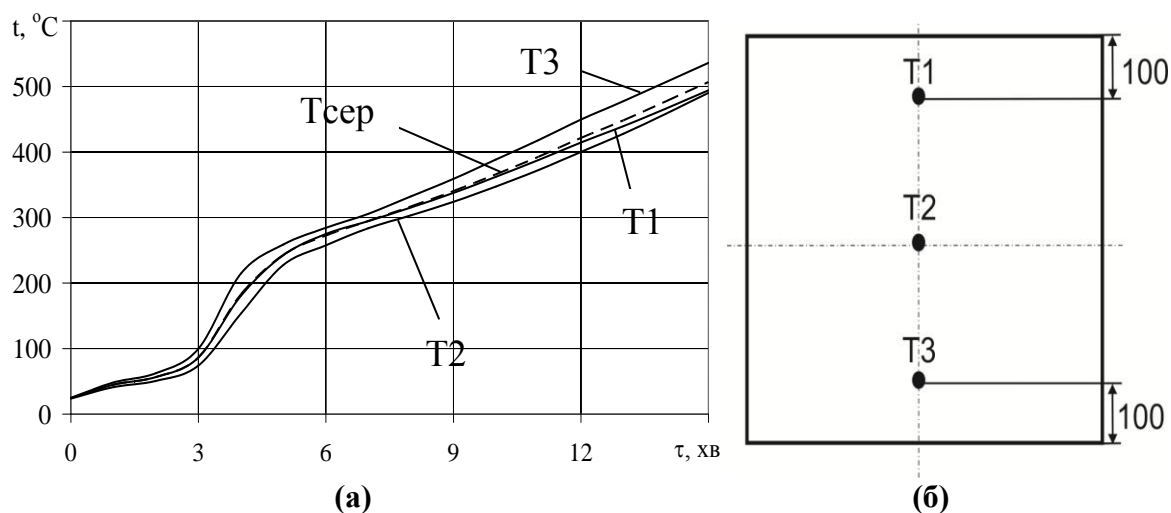


Рис. 1. Схема розміщення термопар з необігрівної поверхні сталевій пластини (а) та залежність температури з необігрівної поверхні сталевій пластини від часу вогневого впливу в різних точках вимірювання температур (б)

Для цього в роботі застосували обчислювальний експеримент, за допомогою якого імітували вогневі випробування сталевих пластин з вогнезахистом, в результаті якого були отримані розрахункові значення температур з необігрівної поверхні сталевій пластини (рис. 1, б).

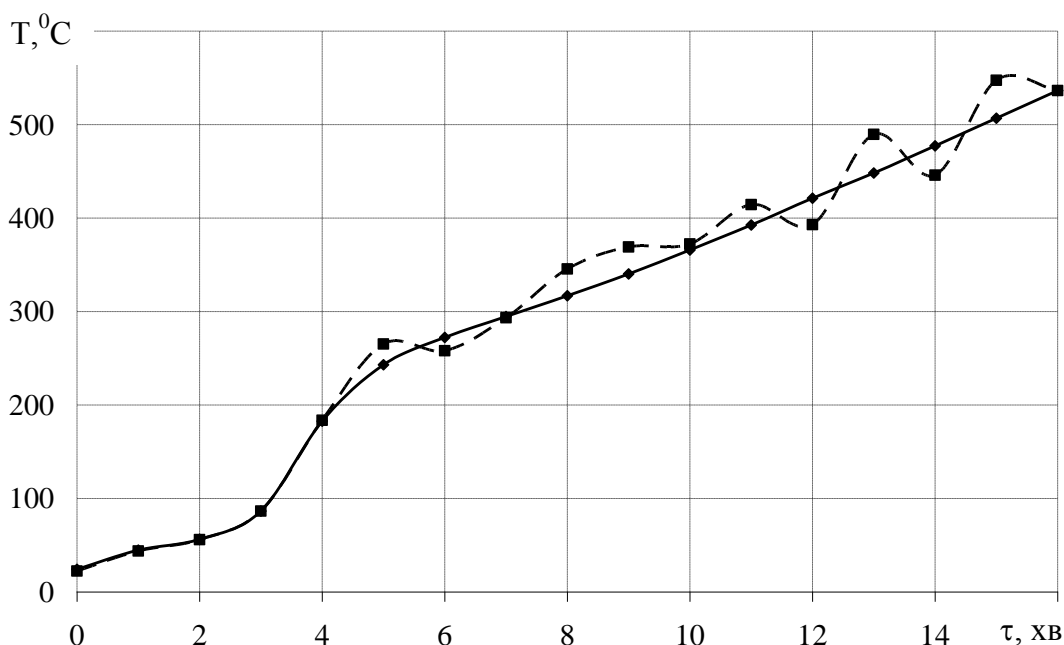


Рис. 2. Точні і збурені до 10% (генератором випадкових чисел) значення температур з необігрівної поверхні сталевій пластини з вогнезахисним покриттям, товщиною 5 мм, де: суцільна крива – точна крива зміни температури на необігрівній поверхні; пунктирна крива – збурена на 10 % крива зміни температури з необігрівної поверхні сталевій пластини

Було досліджено вплив похибок при вимірюванні температур з необігрівної поверхні сталеві пластини на точність визначення ТФХ вогнезахисного покриття, що спучується. На першому етапі вводилися випадкові похибки 10% у вимірюванні температур на необігрівній поверхні пластини за допомогою генератора випадкових чисел.

Використовуючи збурені на 10 % температури (рис. 2, пунктирна крива), а також фізичну і математичну моделі теплового стану зразка [11], розв'язанням обернених задач теплопровідності (ОЗТ), були отримані теплофізичні характеристики покриття, що досліджувалось: постійне значення питомої об'ємної теплоємності $C_v = 6,14 \cdot 10^5$ Дж/м³·К, а коефіцієнт теплопровідності як функція від температури (рис. 3).

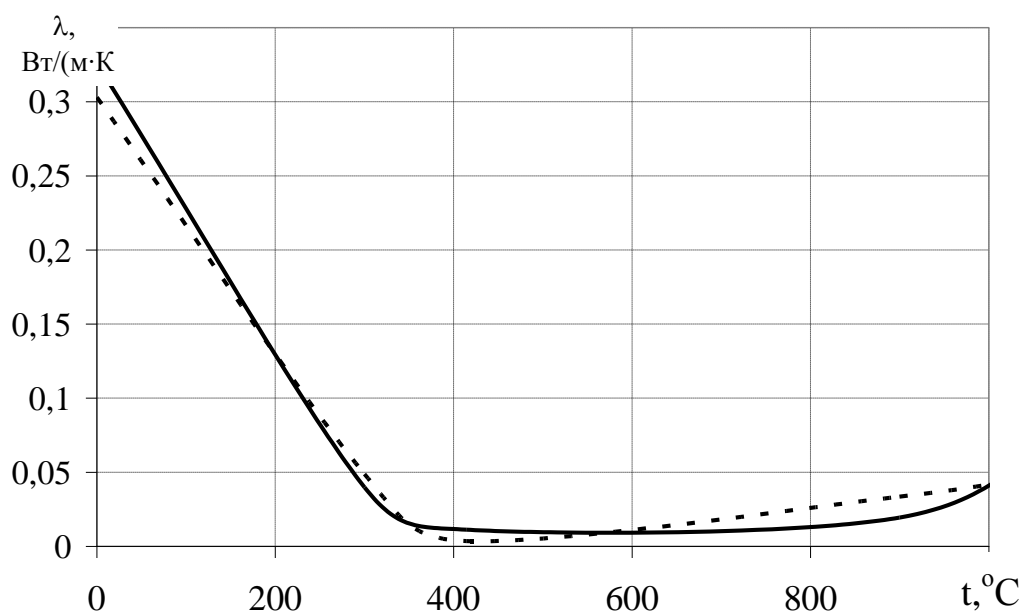


Рис. 3. Залежність ефективного коефіцієнту теплопровідності вогнезахисного покриття від температури, де: суцільна крива – точні коефіцієнти; пунктирна крива – коефіцієнти, отримані розв'язанням ОЗТ при збурених температурах на 10%.

Критерій середньоквадратичного відхилення при пошуку коефіцієнта теплопровідності вогнезахисного покриття «Amotherm Steel Wb» по збуреним на 10% температурам склав 10,2 °C.

У результаті дослідження встановлено, що випадкові похибки у вимірюванні температури на 10 % з необігрівної поверхні сталеві пластини з вогнезахисним покриттям впливають на точність визначення ТФХ покриття. Неточність у вимірюванні температур з необігрівної поверхні сталеві пластини на 10% призводить до похибки у визначенні ТФХ покриття в 14 %, що є досить суттєвою неточністю при проектних розрахунках і може вплинути на точність визначення характеристики вогнезахисної здатності покриття, що буде наведено нижче (рис. 4).

Як бачимо із рис. 4 максимальна похибка у значеннях мінімальної товщини вогнезахисного покриття складає більше 50 %, що є досить ви-

сокою неточністю у інженерних розрахунках, яка може призвести до невірної визначення параметрів і подальшому може призвести до руйнувань конструкцій, будівель, і що найстрашніше, до загибелі людей внаслідок руйнувань.

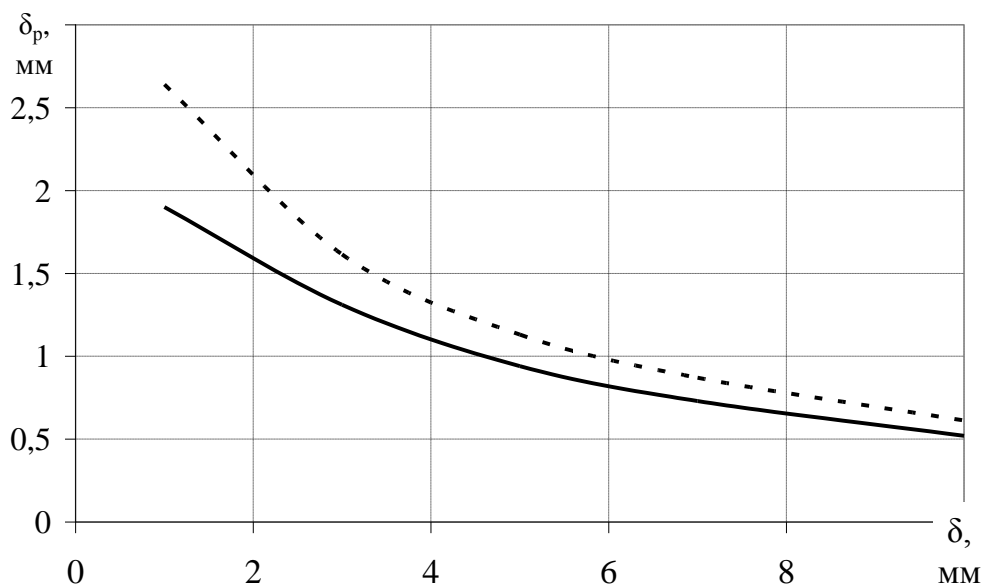


Рис. 4. Залежність мінімальної товщини вогнезахисного покриття «Amotherm Steel Wb» від товщини сталеві пластины для критичної температури сталі 500 °С і нормованої тривалості вогневого впливу 30 хв, де: суцільна крива – точні коефіцієнти; пунктирна крива – коефіцієнти, отримані розв'язанням ОЗТ при збурених температурах на 10%

Перевагою запропонованої роботи є можливість визначення параметрів вогнезахисних покриттів (коефіцієнту теплопровідності, питомої об'ємної теплоємності, мінімальної товщини покриття) з урахуванням можливих похибок у вимірюванні температур при температурному режимі вуглеводневої пожежі. Наведені результати дозволять розширити область застосування вогнезахисних покриттів сталевих конструкцій при їх використанні в будівлях та спорудах різного цільового призначення. Це, в свою чергу, дасть змогу з більшою точністю підходити до оцінювання вогнестійкості сталевих конструкцій з вогнезахистом при тривалому використанні. Дослідження будуть корисними для проектувальників, виробників вогнезахисних речовин, тому що дадуть змогу розраховувати такі товщини покриттів, які б забезпечували нормовану межу вогнестійкості конструкції з урахуванням функціонального призначення будівлі та режимів пожежі, що можуть виникнути на таких об'єктах.

Робота є продовженням циклу робіт з підвищення вогнестійкості сталевих конструкцій захищених вогнезахисними покриттями, але з урахуванням їх випробувань в умовах температурного режиму вуглеводневої пожежі, що дозволить уникнути помилок при проектуванні вогнезахисту на об'єктах, позитивним чином вплине на основні показники пожежної статистики.

Висновки. В результаті проведеного дослідження встановлено, що випадкові похибки 10 % у вимірюванні температур на необігрівній поверхні сталеві пластини з вогнезахисним покриттям призводять до похибки у визначенні теплофізичних характеристик покриття в 14 %, а при визначенні характеристики вогнезахисної здатності покриття – більше, ніж на 50 %. Тому їх обов'язково необхідно враховувати при проектуванні будівель та споруд, тому що неврахування цих відхилень може призвести до помилкових визначень цих параметрів, а це в свою чергу негативним чином може вплинути на основні показники пожежної статистики.

ЛІТЕРАТУРА

1. Защита от пожара. Огнезащитные покрытия для строительных несущих металлических конструкций. Метод определения огнезащитной способности : ДСТУ Б В.1.1-17: 2007. – [Введен в действие 2007–06–22]. – К. : УкрНИИПБ МЧС Украины, 2007. – 20 с.

2. F.Wald. Experimental behaviour of a steel structure under natural fire / L.Simões Da Silva, D.B.Moore, T.Lennon, M.Chladna, A.Santiago, M.Beneš, L.Borges // Fire Safety Journal. Volume 41, Issue 7, October 2006, Pages 509–522.

3. Valdir Pignatta e Silva. Determination of the steel fire protection material thickness by an analytical process—a simple derivation / Valdir Pignatta e Silva // Engineering Structures, Volume 27, Issue 14, December 2005, Pages 2036–2043.

4. Ivica Boko. Pouzdanost čeličnih konstrukcija u požaru / Ivica Boko, Bernardin Peroš, Neno Torić // GRAĐEVINAR 62 (2010) 5, 389–400.

5. Ruirui Sun. Progressive collapse analysis of steel structures under fire conditions / Zhaohui Huang, Ian W Burgess // Engineering Structures Volume 34, January 2012, Pages 400–413.

6. Shuyuan Lin. The effects of protected beams and their connections on the fire resistance of composite buildings / Shuyuan Lin, Zhaohui Huang, Mizi, Fan // Fire Safety Journal. Volume 78, November 2015, Pages 31–43.

7. Рыбка Е.А. Лабораторная установка для оценки огнезащитной эффективности вспучивающихся покрытий для металлических конструкций с учетом параметров развития реального пожара / Е.А. Рыбка, В.А. Андронов // Пожаровзрывобезопасность. – Т. 19. – 2010. – № 10. – С. 19–23.

8. Цой А.А. Испытание огнезащитных материалов в условиях углеводородного температурного режима [Электронный ресурс] / А.А. Цой, Ф.В. Демехин // Вестник Санкт-Петербургского университета Государственной противопожарной службы МЧС России, 2015. – №4. – URL: <http://www.vestnik.igps.ru>. (Дата обращения 21.02.2016).

9. Експериментальне дослідження вогнезахисної здатності покриття «Amotherm Steel Wb» при температурному режимі вуглеводневої пожежі / А.І. Ковальов, Є.В. Качкар, Н.В. Зобенко [та ін.] // Пожежна

безпека: теорія і практика. – 2014. – № 17. – С. 53–60.

10. Захист від пожежі. Вогнезахисне оброблення будівельних конструкцій. Загальні вимоги та методи контролювання: ДСТУ–Н–П Б В.1.1–29:2010. – [Чинний від 2011–11–01]. – К. : Мінрегіонбуд України, 2011. – 9 с. – (Національний стандарт України).

11. 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.

Отримано редколегією 9.03.2018

А.И. Ковалев, Н.В. Зобенко, Ю.А. Отрош, И.М. Хмыров, А.Н. Данилин

Точность определения параметров покрытий стальных конструкций при углеводородном режиме пожара

Исследовано влияние ошибок в 10% в измерении температур с необогреваемой поверхности стальной пластины с огнезащитным покрытием «Amotherm Steel Wb». Показано, как влияют такие ошибки на точность определения теплофизических характеристик указанного покрытия. Выявлено влияние погрешностей на точность определения характеристики огнезащитной способности этого покрытия в условиях температурного режима углеводородного пожара.

Ключевые слова: огнезащитное покрытие, характеристика огнезащитной способности, температурный режим углеводородного пожара, теплофизические характеристики, обратная задача теплопроводности.

A. Kovaliov, N. Zobenko, Y. Otrosh, I. Khmyrov, A. Danilin

Accuracy of determination of parameters of coatings of steel structures under conditions of the temperature regime of a hydrocarbon fire

The effect of errors of 10% in the measurement of temperatures from the unheated surface of the steel plate with the flame retardant coating "Amotherm Steel Wb" was investigated. It is shown how such errors affect the accuracy of determining the thermal characteristics of the coating. The influence of errors on the accuracy of determining the flame retardant performance of this coating under the conditions of the temperature regime of a hydrocarbon fire is revealed.

Keywords: fire-retardant coating, fire-retardant capability, temperature of hydrocarbon fire, thermophysical characteristics, inverse heat conduction problem.