

УДК 614. 84

О. М. Григоренко, к.т.н., доцент, доц. каф. (ORCID 0000-0003-4629-1010)

Н. В. Саєнко, к.т.н., доцент, ст. викл. (ORCID 0000-0003-4873-5316)

Є. С. Золкіна, PhD, викл. каф. (ORCID 0000-0003-2562-2546)

В. О. Липовий, к.т.н., доцент, доц. каф. (ORCID 0000-0002-1967-0720)

Національний університет цивільного захисту України, Харків, Україна

ОПТИМІЗАЦІЯ МЕТОДУ ОЦІНКИ ЕФЕКТИВНОСТІ РЕАКТИВНИХ ВОГНЕЗАХИСНИХ ПОКРИТТІВ

Запропоновано оптимізований метод оцінки вогнезахисної ефективності реактивних покриттів, що може бути застосований під час розробки та дослідженні нових рецептур вогнезахисних складів. Для досягнення поставленої мети проведено критичний аналіз існуючих методів оцінки вогнезахисної ефективності реактивних вогнезахисних покриттів, як затверджених нормативними документами, так і таких, що використовувалися дослідниками для експрес-оцінок ефективності вогнезахисних засобів. За результатами аналізу переваг і недоліків досліджуваних методів для скорочення часу на підготовку та обробку результатів експериментів запропоновано оптимізований метод оцінки ефективності реактивних вогнезахисних покриттів. Запропонований оптимізований метод передбачає використання електричної печі з ізольованою випробувальною камерою для акумуляції тепла як джерела теплового випромінювання, яка дозволяє отримати температуру на реверсі металеві пластини понад 950 °С. У якості критерію вогнезахисної ефективності запропоновано використання порівняння часу досягнення критичної температури (500 °С) на зовнішній стороні металевих пластин, що захищені вогнезахисними покриттями. Досліджено ефективності вогнезахисту металеві пластини за запропонованим методом для трьох зразків вогнезахисних засобів реактивного типу: покриття на основі епоксидного олігомеру, поліфосфату амонію, гідроксиду алюмінію та інтеркальованого графіту, покриття на стирол-акриловій основі промислового виробництва та відомого покриття на основі епоксидного олігомеру наповненого монофосфатом амонію та інтеркальованим графітом. Результати експерименту дозволили зробити порівняльну оцінку ефективності вогнезахисту досліджуваних покриттів. Використання оптимізованого методу дозволяє суттєво спростити експеримент та скоротити час на підготовку зразків та обробку його результатів.

Ключові слова: ефективність вогнезахисту, метод, вогнезахисне покриття, випробування, вогнезахист металу, будівельні конструкції

1. Вступ

Металеві конструкції широко використовуються в промисловості та будівництві. Проте, в умовах пожежі, незахищені металеві конструкції втрачають свою несучу здатність протягом 0,1–0,4 годин [1], оскільки критична температура для конструкцій з різних сталей в середньому складає 470–550 °С, з алюмінієвих сплавів – 165–225 °С. Відтак, вогнезахисна ефективність покриттів для протипожежного захисту металевих конструкцій буде визначатися проміжком часу від початку температурного впливу до моменту досягнення конструкції критичної температури. Найперспективнішим способом забезпечення нормативної межі вогнестійкості будівельних конструкцій, що не обтяжує будівельні конструкції та може застосовуватися для конструкцій складної конфігурації, є вогнезахист за допомогою реактивних вогнезахисних покриттів (РВП). Засоби цього типу під дією полум'я спучуються з утворенням на поверхні будівельної конструкції вогнезахисного теплоізолювального шару. Реактивні вогнезахисні покриття є складними з точки зору взаємодії його основних компонентів: плівкоутворювача, карбонізуючого агента, каталізатора (джерела кислоти), джерела вуглецю та газоутворювача. Це спричиняє певні труднощі під час досліджень спрямованих на розробку нових рецептур РВП,

зокрема на дослідження кратності їх спучування під впливом температури полум'я, структури утвореного коксового шару та його міцності, а також вогнезахисної ефективності. Складність розробки нових рецептур РВП полягає у необхідності підготовки великої кількості зразків для опрацювання плану експерименту та безпосередньо у складності методів випробувань. Особливо це стосується досліджень з визначення ефективності вогнезахисту будівельних конструкцій, зокрема металевих.

Таким чином, недосконалість існуючих методів оцінки ефективності реактивних вогнезахисних покриттів є актуальною проблемою.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Реактивні вогнезахисні покриття мають ряд переваг, серед яких: простота використання, економічність, широкий спектр застосування тощо. Однак, необхідно враховувати, що реактивний спосіб вогнезахисту полягає у використанні тонкошарових покриттів, склад яких спеціально підібрано з таким розрахунком, щоб забезпечити перебіг хімічної реакції під дією високих температур. Під час нагрівання компоненти реактивної системи утворюють щільний теплоізолювальний шар і оберігають конструкцію від температурного впливу. Процеси термічних перетворень цього типу покриттів супроводжуються цілим комплексом ендотермічних хімічних реакцій, в ході яких виділяються речовини, що уповільнюють процес горіння. Матеріал, що спучується утворює спінену масу або звуглений залишок.

Дослідженню вогнезахисних покриттів, у тому числі й реактивних, присвячено чимало робіт. Зокрема в роботі [2] наведено результати досліджень структури та товщини спученого коксового шару реактивних вогнезахисних покриттів на основі меламін-формальдегідних смол та стирол-акрилових дисперсій. Наведені результати дають лише загальне уявлення про ефективність вогнезахисту оскільки дослідження проводяться на зразках, що випробовують за визначеної температури (500 °C), а структура та товщина спученого коксового шару не дозволяють кількісно оцінити ефективність вогнезахисту з визначенням часу досягнення граничного стану за втратою теплоізолювальної здатності.

Критичний аналіз сучасних методів оцінювання вогнезахисної здатності вогнезахисних матеріалів для будівельних конструкцій наведено у роботі [3]. Зокрема наведено основні положення і методи оцінювання вогнезахисної здатності вогнезахисних матеріалів різних типів, у тому числі й реактивних вогнезахисних покриттів для металевих конструкцій. Проте у роботі не акцентовано увагу на недоліках тих чи інших методів.

В Україні методи дослідження вогнезахисних реактивних покриттів для металевих конструкцій визначено відповідно до національного стандарту України ДСТУ Б В.1.1-17 [4]. Цей нормативний акт регулює і залежність мінімальної товщини вогнезахисного матеріалу від коефіцієнта перерізу сталевого профілю та нормованої межі вогнестійкості для несучої сталевий конструкції. Сутність методу полягає у нагріванні набору зразків у стандартному температурному режимі з подальшим оцінюванням даних випробувань за допомогою методів математичного аналізу для отримання характеристик вогнезахисної здатності покриття. В Європейському союзі для класифікації вогнезахисної ефективності реактивних покриттів для несучих металевих конструкцій використовують EN 13381-8 [5], що відповідає державному стандарту України ДСТУ Б В.1.1-17 [4].

Методи [4, 5] дозволяють оцінити вогнезахисну ефективність вогнезахисних покриттів в умовах стандартного температурного режиму пожежі. Під час випробувань металеві зразки встановлюють в вогневу піч та за допомогою термопар, розташованих у визначених місцях, знімають показники температури зразків для різної тривалості вогневого впливу без навантаження. За результатами випробувань визначають залежності між температурою, яка впливає на досліджуваний зразок, товщиною шару вогнезахисного матеріалу та граничною температурою конструктивного матеріалу, на який нанесено вогнезахисне покриття.

Оскільки за стандартами [4, 5] випробування повинні проводитися на габаритних зразках, що потребує відповідного обладнання, методи не цілком придатні для використання саме у процесі розробки та дослідження нових рецептур РВП, а можуть бути використані на заключному етапі експерименту для підтвердження ефективності розроблених вогнезахисних покриттів.

У роботі [6] запропонована експрес-методика, суть якої полягає у визначенні вогнезахисної здатності покриття під час теплової дії на дослідний зразок і визначенні часу від початку теплової дії до настання граничного стану для дослідного зразка металеві пластина розміром $600 \times 600 \times 5$ мм з нанесеним на неї засобом вогнезахисту. Для проведення досліджень використовується піч для теплофізичних випробувань малогабаритних фрагментів будівельних конструкцій та їх окремих вузлових і стикових з'єднань, у якій підтримується стандартний температурний режим пожежі. Недоліком методу є складність регулювання паливної системи для забезпечення відповідного температурного режиму, необхідність використання спеціалізованого обладнання (печі), що значно підвищує трудомісткість, а, отже, і вартість, процесу розробки та дослідження нових рецептур вогнезахисних покриттів.

В той же час, ряд експериментальних досліджень [7, 8] присвячено визначенню процесів термохімічних перетворень вогнезахисних покриттів та їх вогнезахисної ефективності за не стандартними методиками. Так, у роботі [7] для порівняння вогнезахисної здатності реактивних покриттів використано методика випробування РВП за температурних умов, що відрізняються від стандартного режиму пожежі. Використана у [7] методика дозволяє оцінити ефективність РВП шляхом визначення коефіцієнта вогнезахисної здатності як функції від товщини покриття та швидкості нагріву у печі. Однак, недоліком використаної у [7] методики є використання печі та зразків складної конфігурації, що ускладнює підготовку до проведення експерименту та збільшує час на обробку його результатів.

У роботі [8] описано методика, яка може враховувати різні вогнезахисні властивості РВП при випробуваннях за різних температурних режимів. Модель базується на експериментальному дослідженні, що проводяться у конусному калориметрі. Показано, що метод дозволяє зробити порівняння вогнезахисної ефективності шляхом визначення температури пластина із протилежного боку до нагрівального приладу за різних значень теплового випромінювання нагрівального елемента. Результати обробки експериментальних даних дозволяють визначати теплопровідність спученого коксового шару вогнезахисного покриття після його стабілізації. Однією із переваг вказаного методу є можливість дослідження поведінки реактивних вогнезахисних покриттів за різних умов нагрівання, що відрізняються від стандартного температурного режиму пожежі. Однак, не вирішеним залишається питання оцінки ефективності вогнезахисного покриття шляхом визначення часу досягнення граничного стану за втратою теплоізолювальної здатності.

Нормативним документом [9] передбачено визначення вогнезахисної здатності вогнезахисних засобів, що спучуються (збільшують свій об'єм під час теплового впливу). Випробування здійснюється методом визначення об'ємного та (або) лінійного коефіцієнта спучення вогнезахисного матеріалу. Оцінка ефективності вогнезахисного засобу може бути визначена шляхом порівняння об'ємного та (або) лінійного коефіцієнтів спучення досліджуваних РВП. Випробування проводять у електричній печі за фіксованої температури 340 ± 5 °С, що є достатньою для ініціації протікання фізико-хімічних перетворень між компонентами РВП, проте не враховує процеси у реакційному середовищі за температур, що є критичними для сталевих будівельних конструкцій (470–550 °С).

У роботі [10] як критерій вогнезахисної ефективності РВП використовувалося порівняння температур після 30 хв. впливу полум'я пальника на реверсі металевих пластин без засобів вогнезахисту та металевих пластин, що були попередньо захищені досліджуваними вогнезахисними засобами. Як джерело тепла використовувався газовий пальник з максимальною температурою полум'я 1150 °С. Як показали досліджень, випробування також проводиться за температурного режиму, що відрізняється від стандартного режиму пожежі – максимальна температура на реверсі навіть незахищеної металевої пластини не перевищує значень 470 °С.

Наведений аналіз свідчить про недоцільність використання існуючих методів при розробці та дослідженні нових рецептур реактивних вогнезахисних покриттів. Це питання може бути вирішеним шляхом оптимізації існуючих методів випробувань, що дозволили б враховувати час досягнення критичних температур металевими конструкціями, що захищені відповідними РВП.

3. Мета та завдання дослідження

Метою роботи є оптимізація методу оцінки вогнезахисної ефективності реактивних покриттів для використання під час розробки та дослідженні нових рецептур вогнезахисних складів.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- оптимізувати метод оцінки вогнезахисної ефективності реактивних вогнезахисних покриттів;
- дослідити ефективність вогнезахисту металевої конструкції за оптимізованим методом.

4. Матеріали та методи дослідження

Об'єктом дослідження є ефективність реактивних вогнезахисних покриттів. Предметом дослідження обрано метод випробувань вогнезахисної ефективності, що передбачає використання електричної печі з ізолюваною випробувальною камерою для акумуляції тепла як джерела теплового випромінювання, яка дозволяє отримати температуру на реверсі металевої пластини понад 950 °С.

Основна гіпотеза полягає у можливості використання спрощених методів оцінки вогнезахисної ефективності реактивних вогнезахисних покриттів у процесі їх розробки. При цьому як критерій ефективності запропоновано використання порівняння часу досягнення критичної температури (500 °С) на зовнішній стороні металевих пластин, що захищені вогнезахисними покриттями.

У якості випробувального обладнання пропонується використовувати електричну піч з ізолюваною випробувальною камерою для акумуляції тепла. Схема ви-

пробувальної печі, що оснащена електричними нагрівачами, наведена на рис. 1а. Випробування пропонується здійснювати на 3 зразках металевих пластин розмірами 120×120×3 мм для кожного досліду.

Вимірювання значень температури пропонується здійснювати за допомогою термопар типу L та двадцятичотириканального приладу фіксації температури (рис. 1б). Для контролю температури всередині нагрівальної камери – одну термопару. Для контролю температури зворотного від нагрівальної камери боку пластинки, замість однієї термопари, що передбачено методом випробувань наведеним у [10], пропонується використовувати п'ять термопар, розміщених у п'яти точках: перша – в геометричному центрі зразка, а ще чотири – рівновіддалені від центральної точки по діагоналі, на відстані, що дорівнює 0,25 довжини цієї діагоналі.

Порядок проведення випробувань. Попередньо підготовлену пластину розмірами 120×120×3 мм з нанесеним вогнезахисним засобом розміщують у випробувальній печі та фіксують термопари у спосіб, що наведено на рис. 1а. Одночасно із ввімкненням електричних нагрівальних елементів відбувається ввімкнення вимірювання приладом фіксації температури. Випробування проводиться доти, доки температура на зовнішній стороні металеві пластини не досягне 500 °С хоча б у 3 точках. Усереднений за результатами випробування на 3 зразках час є часом досягнення критичної температури (500 °С).

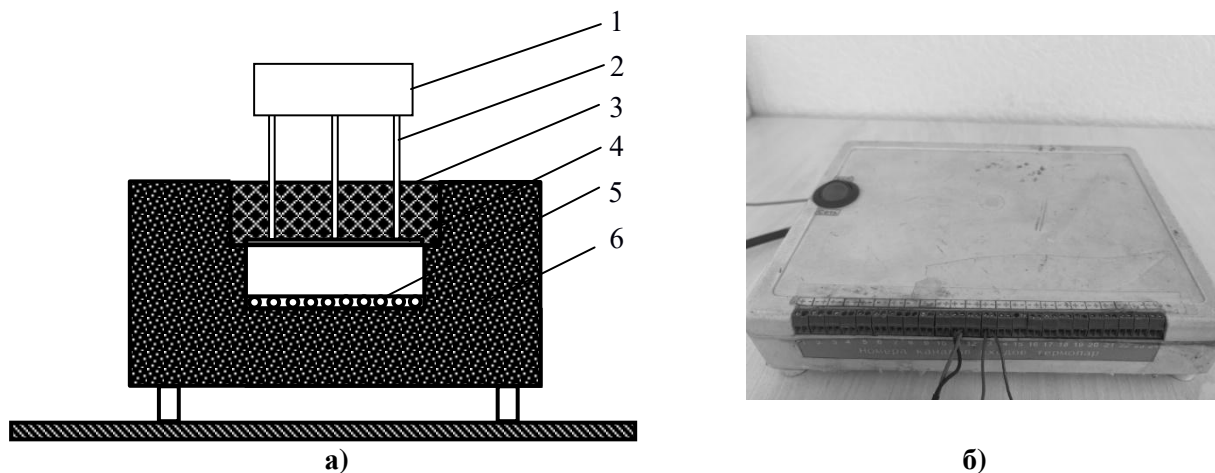


Рис. 1. Обладнання, що використовували для порівняльної оцінки вогнезахисної ефективності РВП: а – схема випробувальної печі: 1 – прилад для фіксації температури, 2 – термопари, 3 – блок утримувача зразка, 4 – дослідний зразок (пластина із нанесеним вогнезахисним засобом), 5 – нагрівальний елемент, 6 – теплоізоляція; б – прилад фіксації температури

Для перевірки гіпотези проведено дослідження ефективності вогнезахисту металеві конструкції для трьох зразків вогнезахисних засобів реактивного типу: покриття на основі епоксидного олігомеру, поліфосфату амонію та інтеркальованого графіту (ПАГ-2) [11], РВП на стирол-акриловій основі промислового виробництва та відомого покриття на основі епоксидного олігомеру наповненого монофосфатом амонію та інтеркальованим графітом (МАФ+ІГАК) [12].

5. Оптимізація методу оцінки вогнезахисної ефективності реактивних вогнезахисних покриттів

Для оптимізації було обрано описаний в [10] метод. На відміну від наведеного методу випробувань, як критерій ефективності обрано не порівняння темпера-

тур на реверсі металевої пластини, а порівняння часу досягнення критичної температури (500 °C) на зовнішній стороні металевих пластин, що захищені вогнезахисними покриттями. Як джерело теплового випромінювання пропонується використовувати електричну піч з ізолюваною на відміну від [10] випробувальною камерою, що сприяє акумуляції тепла (рис. 1, а). При цьому температурний режим печі є повільнішим від стандартного температурного проте дозволяє отримати температуру на реверсі металевої пластини понад 950 °C, що цілком достатньо для порівняльної оцінки вогнезахисної ефективності РВП для металевих конструкцій. Дослідження за таких умов є обґрунтованим, оскільки, як правило, зі зменшенням інтенсивності нагрівання ефективність вогнезахисту реактивних покриттів знижується, що пояснюється сповільненням протікання фізико-хімічних перетворень між компонентами РВП.

Для побудови залежності температури зовнішньої сторони пластини від часу пропонується брати середнє значення температури виміряне у п'яти точках усереднене за результатами 3 випробувань. Оцінка ефективності вогнезахисту покриттів за допомогою оптимізованого методу може бути здійснена шляхом порівняння результатів випробувань досліджуваного покриття з результатами випробувань інших вогнезахисних покриттів, у випадку, якщо випробування проводяться за однакових умов.

6. Дослідження ефективності вогнезахисту металевої конструкції за оптимізованим методом

Для апробації оптимізованого методу проводили дослідження ефективності вогнезахисту металевої конструкції для трьох зразків вогнезахисних засобів реактивного типу: отриманого у результаті попередніх розробок покриття на основі епоксидного олігомеру, поліфосфату амонію та гідроксиду алюмінію у якості антипіренів та інтеркальованого графіту як додаткове джерело вуглецю (ПАГ-2) [11], РВП на стирол-акриловій основі промислового виробництва та відомого покриття на основі епоксидного олігомеру наповненого монофосфатом амонію у якості антипірену та інтеркальованим графітом у якості додаткового джерела вуглецю (МАФ+ІГAK) [12].

Залежність зміни температури всередині дослідної установки, на зовнішній стороні металевої пластини, а також на зовнішній стороні металевої пластини, захищеної вогнезахисним засобом на стирол-акриловій основі, відомим епоксиполімером, наповненим МАФ+ІГAK [12] та розробленим реактивним вогнезахисним покриттям ПАГ-2 [11] представлено на рис. 2.

Покриття на металеву пластину наносили товщиною 1 мм для усіх зразків, що досліджувалися.

7. Обговорення результатів досліджень, отриманих під час випробувань за оптимізованим методом

Досягти мети роботи вдалося досягти завдяки аналізу переваг та недоліків існуючих методів оцінювання вогнезахисної здатності вогнезахисних матеріалів, запропонувавши удосконалення методу, описаного в [10] завдяки використанню електричної печі з ізолюваною випробувальною камерою для акумуляції тепла як джерела теплового випромінювання, що дозволяє отримати температуру на реверсі металевої пластини понад 950 °C. У якості критерію вогнезахисної ефективності запропоновано використання порівняння часу досягнення критичної температури (500 °C) на зовнішній стороні металевих пластин, що захищені вогнезахисними покриттями.

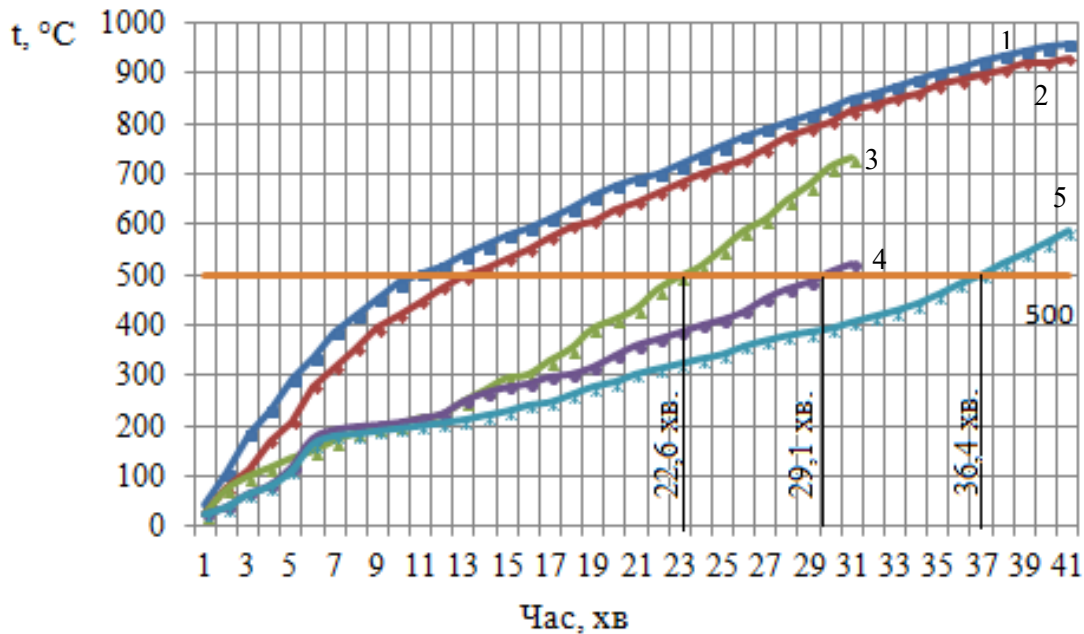


Рис. 2. Залежність зміни температури всередині дослідної установки (1), на зовнішній стороні металевої пластини (2), а також на зовнішній стороні металевої пластини, захищеної вогнезахисним засобом на стирол-акриловій основі (3), епоксиполімером, наповненим МАФ+ІГАК [12] (4) та покриттям ПАГ-2 [11] (5)

Використання оптимізованого методу оцінки вогнезахисної ефективності реактивних вогнезахисних покриттів дозволяє істотно скоротити час на підготовку зразків при плануванні та проведенні експерименту. Використання як критерію ефективності часу прогрівання до критичної температури (500 °C) на зовнішній стороні металевої пластини, що захищена вогнезахисними покриттями, суттєво спрощує експеримент та скорочує час на обробку його результатів. Використання електричної печі із температурним режимом, відмінним від стандартного режиму пожежі, по-перше, дає змогу оцінити ефективність вогнезахисту в умовах повільного розвитку пожежі, а, по-друге, – значно спрощує умови експерименту, що надзвичайно важливо під час досліджень спрямованих на розробку та дослідження нових рецептур реактивних вогнезахисних покриттів. Крім того, специфіка перетворень у покриттях такого типу свідчить про те, що під час нагрівання у режимах, повільніших за стандартний температурний пожежі, спостерігається тенденція до зменшення ефективності вогнезахисту, що обумовлено зсувом температурних меж синхронізації фізико-хімічних процесів у конденсованій фазі системи «плівкоутворювач – карбонізуючий агент – кислотний агент – газоутворювач» у бік нижчих температур. Характер та узгодженість протікання хімічних реакцій та фізичних процесів на цьому етапі є важливими, оскільки вони повинні відбуватися у певній послідовності та за визначених температур і тільки у цьому випадку можливе утворення міцного теплоізолювального вуглецевого шару. Отже, випробування за температурного режиму, повільнішого за стандартний температурний є обґрунтованим, оскільки більше відповідає умовам, притаманним реальній пожежі.

Як видно із наведених результатів досліджень (рис. 2), час прогрівання зовнішньої сторони незахищеної металевої пластини становить близько 12 хв. Використання РВП промислового виробництва на стирол-акриловій основі дозволяє відтермінувати цей час до 22,6 хв. При використанні відомого вогнезахисного покриття на епоксидній основі, наповненого МАФ+ІГАК, час досягнення критичної

температури становить 29,1 хв. Використання з метою вогнезахисту металевих конструкцій розробленого епоксидного покриття ПАГ-2 дозволяє збільшити час прогрівання металевої пластини до 36,4 хв. Результати досліджень дозволяють зробити висновок, що ефективність вогнезахисту металевої пластини покриттям ПАГ-2 у 1,3 рази вища у порівнянні з відомим аналогом на епоксидній основі та в 1,6 разів вища за цей показник в порівнянні з промисловим зразком на стирол-акриловій основі.

Для підтвердження наведених у роботі даних доцільним є проведення досліджень ефективності покриттів за стандартними методами.

Разом з тим, випробування за наведеним у роботі методом мають свої обмеження та недоліки – конструкція печі не дозволяє проводити дослідження на розмірних зразках будівельних конструкцій, що дало б змогу оцінити ефективність їх вогнезахисту. Суттєвим недоліком є також відсутність можливості регулювання температурного режиму у випробувальній камері печі. Це дало б змогу робити оцінку ефективності вогнезахисту з урахуванням інтенсивності теплового потоку, що є важливим для дослідження характеру перебігу фізико-хімічних перетворень між компонентами реактивного вогнезахисного покриття з різними умовами нагрівання.

Для врахування недоліків використаного у дослідженнях методу доцільним є удосконалення випробувальної печі, що б дало змогу збільшити потужність джерела теплового випромінювання та забезпечити можливість зміни параметрів теплового потоку, у тому числі й передбачати випробування за стандартним температурним режимом пожежі.

Таким чином, застосування оптимізованого методу оцінки вогнезахисної ефективності реактивних вогнезахисних покриттів дозволяє зробити порівняльну оцінку ефективності РВП, використовуючи як критерій час досягнення критичної температури (500 °С) на зовнішній стороні металевої пластини.

8. Висновки

1. Оптимізовано метод оцінки вогнезахисної ефективності реактивних вогнезахисних покриттів. Для цього проведено критичний аналіз існуючих методів оцінки вогнезахисної ефективності реактивних вогнезахисних покриттів. Встановлено, що під час досліджень, спрямованих на розробку нових рецептур вогнезахисних складів, доцільним є використання спрощених методів випробувань. Критерієм ефективності у цьому випадку може слугувати час досягнення критичної температури (500 °С) на зовнішній стороні металевої пластини, що захищена вогнезахисним покриттям. Запропоновано використання оптимізованого методу оцінки вогнезахисної ефективності реактивних вогнезахисних покриттів, що базується на порівнянні результатів випробувань металевих зразків, захищених вогнезахисними складами. У якості критерію ефективності запропоновано використання часу прогрівання до критичної температури (500 °С) металевої пластини з нанесеним реактивним вогнезахисним покриттям. Використання оптимізованого методу дозволяє скоротити час на підготовку зразків при плануванні та проведенні експерименту, а також дослідити ефективність реактивних вогнезахисних покриттів за температурних режимів, що відрізняються від стандартного режиму пожежі.

2. Досліджено ефективності вогнезахисту металевої конструкції за запропонованим методом. Дослідження проводилось для трьох зразків вогнезахисних засобів реактивного типу: покриття на основі епоксидного олігомеру, поліфосфату амонію, гідроксиду алюмінію та інтеркальованого графіту ПАГ-2, покриття на

стирол-акриловій основі промислового виробництва та відомого покриття на основі епоксидного олігомеру наповненого монофосфатом амонію та інтеркальованим графітом. Ефективність вогнезахисту металу покриттям ПАГ-2, оцінена шляхом порівняння часу прогрівання металевієї пластини, у 1,3 рази вище за відомі аналоги на епоксидній основі та в 1,6 разів вище за покриття на стирол-акриловій основі промислового виробництва, випробуваних за однакових умов. Застосування запропонованого оптимізованого методу дозволяє зробити порівняльну оцінку ефективності реактивних вогнезахисних покриттів, використовуючи як критерій час досягнення критичної температури (500 °С) на реверсі металевієї пластини.

Література

1. Lucherini A., Maluk C. Intumescent coatings used for the fire-safe design of steel structures: A review. *Journal of Constructional Steel Research*. 2019. Vol. 162. 105712. doi: 10.1016/j.jcsr.2019.105712

2. Gravit Marina, et al. Estimation of the pores dimensions of intumescent coatings for increase the fire resistance of building structures. *Procedia engineering*. 2015. Vol. 117. P. 119–125. doi: 10.1016/j.proeng.2015.08.132

3. Новак С. В., Дріжд В. Л., Добростан О. В. Аналіз сучасних Європейських методів оцінювання вогнезахисної здатності вогнезахисних матеріалів для будівельних конструкцій. *Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека*. 2018. № 1(5). С. 74–84. URL: https://firesafety.at.ua/Visnyk_new/N1_2018/10_novak_dobrostan.pdf

4. ДСТУ Б В.1.1-17:2007. Захист від пожежі. Вогнезахисні покриття для будівельних несучих металевих конструкцій. Метод визначення вогнезахисної здатності (ENV 13381-4:2002, NEQ). [Чинний від 2008-01-01]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2007. 60 с. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=41506

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. [Чинний від 2013-05-01]. Brussels: European Committee for Standardization. URL: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/df0cdd6b-9ef2-47fc-874b-414ae34aa5cc/en-13381-8-2013>

6. Борис О. П., Половко А. П., Юзьків Т. Б. Експрес-методика оцінювання вогнезахисної здатності вогнезахисних матеріалів. *Науковий вісник УкрНДІПБ*. 2012. № 2(26). С. 95–99. URL: https://firesafety.at.ua/visnyk/2012_No_2-26/15-Boris_Uz_kiv.pdf

7. Андронов В. А., Рибка Є. О. Порівняння вогнезахисної здатності реактивних покриттів ОВК, ЕНДОТЕРМ 40202 та ЕНДОТЕРМ ХТ-150 за різних швидкостях нагріву. *Науковий вісник УкрНДІПБ*. 2012. № 2(26). С. 1–7. URL: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/461/1/24.pdf>

8. Wang Y., Goransson U., Holmstedt G., Omrane A. A model for prediction of temperature in steel structure protected by intumescent coating, based on tests in the cone calorimeter. *Fire Safety Science*. 2005. Vol. 8. P. 235–246. URL: https://www.researchgate.net/profile/Yong-Wang-115/publication/240821850_A_Model_For_Prediction_Of_Temperature_In_Steel_Structure_Protected_By_Intumescent_Coating_Based_On_Tests_In_The_Cone_Calorimeter/links/5645fe6d08ae9f9c13e72cbf/A-Model-For-Prediction-Of-Temperature-In-Steel-Structure-Protected-By-Intumescent-Coating-Based-On-Tests-In-The-Cone-Calorimeter.pdf

9. ДСТУ-Н-П Б В.1.1-29:2010. Захист від пожежі. Вогнезахисне оброблення будівельних конструкцій. Загальні вимоги та методи контролювання. [Чинний від 2011-11-01]. Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. 9 с. URL: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=26657

10. Silveira M. R. D., Peres R. S., Moritz V. F., Ferreira C. A. Intumescent coatings based on tannins for fire protection. *Materials Research*. 2019. Vol. 22(2). e20180433. doi: 10.1590/1980-5373-MR-2018-0433

11. Hryhorenko O., Zolkina Ye., Saienko N., Popov Yu. Investigation of the Effect of Fillers on the Properties of the Expanded Coke Layer of Epoxyamine Compositions. *IOP Conference Series: Problems of Emergency Situations: Materials and Technologies II*. 2021. Vol. 1038. P. 539–546. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.1038.539

12. Яковлева Р. А., Фомин С. Л., Сафонов Н. А., Безуглый А. М. Новые огнезащитные покрытия по металлу и идентификация их теплофизических свойств. *Науковий вісник будівництва*. 2008. № 48. С. 250–268

O. Hryhorenko, PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department

N. Saienko, PhD, Assistant Professor of the Department

Ye. Zolkina, PhD, Lecturer of the Department

V. Lypovyi, Associate Professor, Associate Professor of the Department

National University of Civil Defence of Ukraine, Kharkiv, Ukraine

OPTIMIZATION OF THE METHOD OF ASSESSING THE EFFICIENCY OF REACTIVE FIRE PROTECTION COATINGS

A critical analysis of methods for assessing the fire-resistant effectiveness of reactive fire-resistant coatings was carried out. It was established that during research aimed at the development of new formulations of flame retardant compounds, it is expedient to use simplified test methods, which would make it possible to significantly simplify the experiment and reduce the time for processing its results. A method of comparative assessment of fire protection efficiency using an electric oven with an isolated test chamber for heat accumulation as a source of thermal radiation, which allows obtaining a temperature on the reverse side of a metal plate above 950 °C, is proposed. As a criterion of fire protection efficiency, it is proposed to use a comparison of the time of reaching the critical temperature (500 °C) on the outside of metal plates protected by fire protection coatings. The effectiveness of fire protection of a metal plate according to the proposed method was investigated for three samples of reactive type fire retardants: a coating based on epoxy oligomer, ammonium polyphosphate, aluminum hydroxide and intercalated graphite, a coating based on styrene-acrylic industrial production and a known coating based on epoxy oligomer filled with ammonium monophosphate and intercalated graphite. It was established that the effectiveness of metal fire protection with a coating based on epoxy oligomer, ammonium polyphosphate, aluminum hydroxide, and intercalated graphite, estimated by comparing the heating time of the metal plate, is 1.3 times higher than the known analog based on epoxy and 1.6 times higher than reactive fire-resistant coating on a styrene-acrylic basis of industrial production, tested under the same conditions. The application of the proposed optimized method allows to provide a comparative assessment of the efficiency of coatings, using as a criterion the time to reach the critical temperature (500 °C) on the reverse side of the metal plate.

Keywords: effectiveness of fire protection, method, reactive coating, testing, metal fire protection, building constructions

References

1. Lucherini, A., Maluk, C. (2019). Intumescent coatings used for the fire-safe design of steel structures: A review. *Journal of Constructional Steel Research*. 162, 105712. doi: 10.1016/j.jcsr.2019.105712

2. Gravit, M., Gumenyuk, V., Sychov, M., Nedryshkin, O. (2015). Estimation of Fire Safety. DOI: 10.52363/2524-0226-2024-39-9

the pores dimensions of intumescent coatings for increase the fire resistance of building structures. *Procedia engineering*, 117, 119–125. doi: 10.1016/j.proeng.2015.08.132

3. Novak, S. V., Drizd, V. L., Dobrostan, O. V. (2018). Analiz suscasnih evropejs'kih metodiv ocinuvanna vognazahisnoji zdatnosti vognazahisnih materialiv dla budivel'nih konstrukcij. *Naukovij visnik: civil'nij zahist ta pozezna bezpeka*, 1(5), 74–85. Available at: https://firesafety.at.ua/Visnyk_new/N1_2018/10_novak_dobrostan.pdf

4. Zahist vid pozezi. Vognazahisni pokritta dla budivel'nih nesucih metalevih konstrukcij. Metod viznacenna vognazahisnoi zdatnosti: DSTU B V.1.1-17:2007 (ENV 13381-4:2002, NEQ). (2007). Kyiv: Minregionbud Ukraini (Last accessed: 19 May 2022). Available at: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page.html?id_doc=41506

5. Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members – Part 8: Applied reactive protection to steel members: EN 13381-8:2013. (2013). Brussels: European committee for standardization. Available at: <https://standards.iteh.ai/catalog/standards/cen/df0cdd6b-9ef2-47fc-874b-414ae34aa5cc/en-13381-8-2013>

6. Boris, O. P., Polovko, A. P., Uz'kiv, T. B. (2012). Ekspres-metodika ocinuvanna vognazahisnoji zdatnosti vognazahisnih materialiv. *Naukovij visnik UkrNDIPB*, 2(26), 95–99. Available at: https://firesafety.at.ua/visnyk/2012_No_2-26/15-Boris_Uz_kiv.pdf

7. Andronov, V. A., Ribka, E. O. (2012). Porivnanna vognazahisnoji zdatnosti reaktivnih pokrittiv OVK, ENDOTERM 40202 ta ENDOTERM HT-150 za riznih svidkostah nagrivu. *Naukovij visnik UkrNDIPB*, 2(26), 1–7. Available at: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/bitstream/123456789/461/1/24.pdf>

8. Wang, Y., Goransson, U., Holmstedt, G., Omrane, A. (2005). A model for prediction of temperature in steel structure protected by intumescent coating, based on tests in the cone calorimeter. *Fire Safety Science*, 8, 235–246. Available at: https://www.researchgate.net/profile/Yong-Wang-115/publication/240821850_A_Model_For_Prediction_Of_Temperature_In_Steel_Structure_Protected_By_Intumescent_Coating_Based_On_Tests_In_The_Cone_Calorimeter/links/5645fe6d08ae9f9c13e72cbf/A-Model-For-Prediction-Of-Temperature-In-Steel-Structure-Protected-By-Intumescent-Coating-Based-On-Tests-In-The-Cone-Calorimeter.pdf

9. Zahist vid pozezi. Vognazahisne obroblanna budivel'nih konstrukcij. Zagal'ni vimogi ta metodi kontroluvanna: DSTU-N-P B V.1.1-29:2010. (2011). Kyiv: Ministerstvo regional'nogo rozvitku ta budivnictva Ukraini. Available at: https://online.budstandart.com/ua/catalog/doc-page?id_doc=26657

10. Silveira, M. R. D., Peres, R. S., Moritz, V. F., Ferreira, C. A. (2019). Intumescent coatings based on tannins for fire protection. *Materials Research*, 22(2). e20180433. doi: 10.1590/1980-5373-MR-2018-0433

11. Hryhorenko, O., Zolkina, Y., Saienko, N. V., Popov, Y. V. (2021). Investigation of the Effect of Fillers on the Properties of the Expanded Coke Layer of Epoxyamine Compositions. In *Materials Science Forum*, 1038, 539–546. Trans Tech Publications Ltd. doi: 10.4028/www.scientific.net/MSF.1038.539

12. Jakovleva, R. A., Fomin, S. L., Safonov, N. A., Bezuglyj, A. M. (2008). Novye ognegasitnye pokrytia po metallu i identifikacia ih teplofiziceskih svojstv. *Naukovij visnik budivnictva*, 48, 250–268.

Надійшла до редколегії: 02.03.2024

Прийнята до друку: 13.04.2024