

Вплив температурних режимів пожежі на значення межі вогнестійкості металевих конструкцій

Проведено математичне планування та обробка результатів експерименту для встановлення закономірностей впливу температурного режиму пожежі на вогнезахисні властивості реактивних покриттів для металевих конструкцій.

Ключові слова: реактивне покриття, температурний режим, експеримент, фактор, дослід, коефіцієнт регресії, дисперсія. Постановка проблеми.

З метою забезпечення регламентованої [1] межі вогнестійкості металевих конструкцій застосовуються переважно реактивні вогнезахисні покриття, завдяки їх високій ефективності, низькій витраті вогнезахисного матеріалу та незначного навантаження на фундамент та конструкцію. Практика сьогодення при проектуванні та забезпеченні вогнезахисту потребує нових достовірних даних щодо комплексу вогнезахисних властивостей реактивних покриттів. Тому встановлення закономірностей впливу різних факторів на вогнезахисні властивості покриттів є актуальною науковотехнічною проблемою.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Проаналізувавши багаторічні дослідження розвитку пожеж в будівлях та спорудах [2-8] встановлено, що інтенсивність і тривалість пожежі змінюється в кожному конкретному випадку і відрізняється від стандартної кривої "температура-час" [1] (Рис. 1), яка застосовується для відтворюваності стандартних експериментальних досліджень. В існуючих методах дослідження вогнезахисної здатності [1, 9- 10] та ідентифікації теплофізичних характеристик (ТФХ) [11-12] реактивних вогнезахисних покриттів випробування проводяться в умовах стандартного температурного режиму та не враховуються температурні режими реальних пожеж, що приводить до недостовірних даних щодо вогнезахисних властивостей покриттів.

Постановка завдання та його вирішення. В зв'язку з вище сказаним виникає необхідність у встановленні математичних залежностей комплексу вогнезахисних властивостей (вогнезахисна здатність, коефіцієнт спучення, коефіцієнт втрати маси та механічна міцність) від товщини реактивного покриття та режиму нагрівання. Для описання цих залежностей в роботі використовували повний факторний експеримент (ПФЕ). Вогнезахисні властивості обрано в якості вихідної змінної у (відгуку). Мета дослідження полягає у визначенні та аналізі у як функції від наступних факторів: $y = \phi(h, V)$, (1) де y – значення вогнезахисної властивості реактивного покриття; h – товщина реактивного покриття в початковому стані, мм; V – швидкість нагріву, °C/хв. На основі аналізу даних, отриманих під час проведення пошукового експерименту, зроблено висновок, що для забезпечення необхідної межі вогнестійкості (30, 45, 60, 90 хв.) товщина реактивного покриття h змінюється в межах від 1 до 3 мм відповідно; а всі температурні режими на етапі розвитку пожежі (перших 10 – 40 хв.) мають лінійну швидкість зміни температури V . Також передбачається, що криві відгуку (вогнезахисні властивості) від вищевказаних факторів будуть мати деяку кривизну, тому для побудови математичної моделі необхідний поліном другого ступеня. Відповідно до математичної теорії експерименту [13], можливість передбачити поведінку функції відгуку дає ортогональний центральний композиційний план другого порядку.. У випадку двох факторного експерименту ($k = 2$) при варіюванні фактору на двох рівнях загальна кількість дослідів:

$n = 2k + 2k + 1 = 9$, тому що $2k$ – число точок ядра ПФЕ, $2k$ – кількість зоряних точок, 1 – одна нульова точка в центрі плану. Планування, проведення та обробка результатів експерименту складається з наступних обов'язкових етапів: кодування факторів; складання план-матриці експерименту; реалізація плану експерименту; перевірка відтворюваності дослідів; перевірка адекватності поліноміальної моделі. Кодування факторів застосовано для переведення натуральних факторів (товщина реактивного покриття, швидкість нагрівання) в безрозмірні величини для можливості побудувати стандартну ортогональну план-матрицю експерименту. Для переведення натуральних змінних в кодовані x_i заповнено таблицю кодування змінних (Табл. 1). В якості нульового рівня факторів обрано центр інтервалу, в якому передбачено проводити експеримент. Таблиця 1 – Кодування факторів, їх значення та інтервали варіювання при дослідженні

вогнезахисних властивостей реактивних покриттів для металевих конструкцій. Інтервал варіювання та рівень факторів Товщина шару (до спучення) h , мм Швидкість нагріву V , °C/хв. Нульовий рівень $x_i = 0$ 2 25 Інтервал варіювання δ_i 1 15 Нижній рівень $x_i = -1$ 1 10 Верхній рівень $x_i = +1$ 3 40 Кодове позначення x_1 x_2 Проблеми пожежної безпеки. Дослідження вогнезахисних властивостей реактивних покриттів для металевих конструкцій з урахуванням температурних режимів реальних пожеж 11 Межі зміни факторів x_1 та x_2 задані з урахуванням проведених попередніх досліджень, а інтервал варіювання є мінімальним для отримання рівняння та достатнім для відсутності помилкового висновку про незначимість одного із факторів. Зв'язок між кодовим та натуральним значенням фактора задається формулою: $x_i = \delta_i \cdot X_i + 0$, $i = 1, 2, 3, \dots, k$, (3) де X_i – натуральне значення фактора; 0 – значення i -го фактора на нульовому рівні; δ_i – інтервал варіювання i -го фактора. Основними функціями відгуку є коефіцієнт вогнезахисної здатності y_1 , коефіцієнт спучення y_2 , коефіцієнт втрати маси y_3 , механічна міцність y_4 спученого вогнегасного шару. Складання план-матриці експерименту здійснюється за рахунок чергування рівнів фактора x_2 в кожному досліді, а x_1 – через три досліді Для перевірки значимості коефіцієнтів регресії знаходили його дисперсію за формулою: $\sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2 = \sum_{i=1}^n y_i^2 - n \bar{y}^2$. (5) Дисперсія помилок дослідів визначається за формулою: $s^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2$, (6) де n – число паралельних дослідів; n – число незалежних оцінок дисперсії. Проблеми пожежної безпеки Дослідження вогнезахисних властивостей реактивних покриттів для металевих конструкцій з урахуванням температурних режимів реальних пожеж 13 Коефіцієнт регресії вважається значимим, якщо виконується нерівність: $t \geq t_{(0,05;f)}$, (7) де $t_{(0,05;f)}$ – 5%-я точка розподілу Студента з f ступенями свободи; Δb_i – довірчий інтервал для коефіцієнта регресії. Перевірка адекватності моделі, що відповідає рівнянню регресії виконуємо за допомогою критерію Фішера. Адекватність обґрунтована, якщо виконується нерівність: $F_{ад} \leq F_{(0,05;f;f)}$, (8) де дисперсія адекватності $s_{ад}^2 = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2$; $F_{(0,05;f;f)}$ – критерій Фішера при 5% рівні значимості; $f_{ад} = n - 0,5(k+2)(k+1)$ – число ступенів свободи дисперсії адекватності $9 - 0,5(2+2)(2+1) = 3$; f_y – число ступенів свободи при визначенні помилки дослідів. Результати перевірки значимості коефіцієнтів регресії та адекватності моделі.

ЛІТЕРАТУРА

1. Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкістархітектури та житлової політики України, 1998. – 20 с. – (Національний стандарт України).
2. Ройтман В.М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий / Ройтман В.М. – М.: Ассоциация «Пожарная безопасность и наука». 2001. – 382 с.
3. Яковлев А.И. Огнестойкость одноэтажных производственных зданий в зависимости от пожарной нагрузки / Яковлев А.И., Стороженко Т.Е. // Промышленное строительство. – 1979. - № 9. - С. 37-39.
4. Башкирцев М.П. Исследование температурного режима при пожарах в зданиях на моделях / Башкирцев М.П. // Труды Высшей школы МВД. – М: НИРЧО, 1966. - № 13.-С. 51-58.
5. Молчадский И.С. Расчет эквивалентной продолжительности пожара для основных строительных конструкций / Молчадский И.С., Гомазов А.В., Зотов СВ. // Поведение строительных конструкций в условиях пожара. - М.: ВНИИПО, 1987. - С. 60-68.
6. Стороженко Т.Е. Оценка пожарной опасности производственных зданий и помещений на основе пожарной нагрузки: Реферат, инф-я. / Стороженко Т.Е., Федоров В.В., Измаилов А.С. - М.: ЦНИИСК, 1978. - Серия IV. - Вып. 9.
7. Lie T.T. Characteristic temperature curves for various fire severities / Lie T.T. // Fire Technol. – 1974 (10). – № 4. - P. 315-326.
8. Rubini. P., SOFIE - Simulation of Fires in Enclosures, V 3.0 Users guide, School of Mechanical Engineering, Granfield University (UK), 2000.
9. Захист від пожежі. Вогнезахисні покриття для будівельних несучих металевих конструкцій. Метод визначення вогнезахисної здатності (EN 13381-4:2002, NEQ) : ДСТУ Б В 1.1-17:2007. – [Чинний від 2008-01-01] – К.: УКРАРХБУДІНФОРМ, 2009. – XIV, 105 с. – (Національний стандарт України).
10. Круковский П.Г. Определение теплофизических характеристик вспучивающегося покрытия по данным испытаний на огнестойкость / Круковский П.Г., Цвиркун С.В. // Науковий вісник УкрНДІПБ. – 2005. – №1(11). – С. 5-13.
11. Огнезащитные составы для стальных конструкций. Общие требования. Метод определения огнезащитной эффективности: НПБ 236-97. – [Действующий с 1997-06-01, введены в действие приказом ГУГПС МВД РФ от 29 апреля 1997 г. N 25] –М., 1997. – 8 с. Проблемы пожарной безопасности Дослідження вогнезахисних властивостей реактивних покриттів для металевих конструкцій з урахуванням температурних режимів реальних пожеж 17
12. Определение теплоизолирующих свойств огнезащитных покрытий по металлу: Методика. – М.: ВНИИПО, 1998. - 19 с.
13. Современный эксперимент: подготовка, проведение, анализ результатов / [Блохин В.Г., Глудкин О.П., Гуров А.И. Ханин М.А.]. – М.: Радио и связь, 1997. – 232 с.
14. Андронов В.А. Лабораторна установка для визначення вогнезахисних властивостей реактивних вогнезахисних покриттів для металевих конструкцій / Андронов В.А., Рибка Є.О. // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: УГЗУ, 2009. – Вып. 26. – С. 3 – 11.