

УДК 699.61

*В.А. Андронов, д-р техн. наук, проф., Є.О. Рибка***ПОРІВНЯННЯ ВОГНЕЗАХИСНОЇ ЗДАТНОСТІ РЕАКТИВНИХ ПОКРИТТІВ ОVK, ЕНДОТЕРМ 40202 ТА ЕНДОТЕРМ ХТ-150 ЗА РІЗНИХ ШВИДКОСТЯХ НАГРІВУ**

Реалізовано експеримент та оброблено його результати з дослідження вогнезахисної здатності трьох реактивних покриттів для металевих конструкцій при різних швидкостях нагрівання.

Ключові слова: реактивне покриття, вогнезахисна здатність, експеримент, швидкість нагрівання, регресійна модель.

*V. Andronov, Dr. of Sc. (Eng.), Prof., Ye. Rybka***COMPARISON OF THE FIREPROOF CAPACITY OF “OVK”, “ENDOTERM 40202”, AND “ENDOTERM HT-150” REACTIVE COATINGS AT VARIOUS HEATING RATES**

An experiment was realized and its results were processed for the studying of fireproof capacity of three reactive coatings for metal constructions at various heating rates.

Keywords: reactive coating, fireproof capacity, experiment, heating rate, and regression model.

Для забезпечення необхідної межі вогнестійкості металевих конструкцій застосовуються переважно реактивні вогнезахисні покриття через їх високу ефективність. Проте під час пожеж спостерігаються факти щодо незабезпечення даними покриттями нормованого вогнезахисту, що приводить до передчасного руйнування як окремих конструкцій, так і будівель в цілому. Однією з причин даної проблеми є відсутність достовірних даних щодо зміни вогнезахисних властивостей реактивних покриттів від режиму їх нагрівання.

Проаналізувавши багаторічні дослідження розвитку пожеж в будівлях та спорудах [1-7] встановлено, що інтенсивність і тривалість пожежі змінюється в кожному конкретному випадку і відрізняється від стандартної кривої "температура-час" [8], яка застосовується для відтворюваності стандартних експериментальних досліджень.

В існуючих методах дослідження вогнезахисної здатності [8-10] 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.

У зв'язку з тим, що досі не встановлений вплив режимів нагріву відмінних від «стандартного» на вогнезахисні властивості реактивних покриттів для металевих конструкцій виникає необхідність у встановленні математичних залежностей вогнезахисної здатності найпоширеніших реактивних покриттів від товщини реактивного покриття та температурного режиму.

Мета дослідження полягає у визначенні та аналізі у як функції від наступних факторів:

$$y = \varphi(h, V), \quad (1)$$

де y – значення вогнезахисної здатності реактивного покриття, хв.; h – товщина реактивного покриття в початковому стані, мм; V – швидкість нагріву, °C/хв.

Передбачається, що криві відгуку від відповідних факторів будуть мати деяку кривизну, тому для побудови математичної моделі застосовано поліном другого ступеня за рахунок конструювання ортогонального центрального композиційного плану другого порядку [13]. Проведення експерименту відповідно до цього плану дозволяє встановити аналітичну залежність функції відгуку y від відповідних факторів у вигляді поліноміального рівняння другого ступеня:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i<j} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2 + \dots, \quad (2)$$

де x_i, x_j – незалежні змінні (фактори); b_0, b_i, b_{ij}, b_{ii} – коефіцієнти регресії.

На основі аналізу даних, отриманих під час проведення пошукового експерименту [14], зроблено висновок, що для забезпечення необхідної межі вогнестійкості 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 . Для переведення натуральних змінних в кодовані x_i заповнено таблицю кодування змінних (таблиця 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 вогнезахисної здатності реактивних покриттів

Інтервал варіювання та рівень факторів	Товщина початкового шару 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

Вогнезахисна здатність покриттів ОВК, Едотерм 40202 та Ендотерм ХТ-150 є функціями відгуку y_1, y_2, y_3 відповідно. Складання план-матриці експерименту здійснюється за рахунок чергування рівнів фактора x_2 в кожному досліді, а x_1 – через три досліді (таблиця 2).

Таблиця 2 – Матриця планування експерименту з вивчення залежності вогнезахисних властивостей реактивного покриття від його товщини (x_1) та швидкості нагріву (x_2)

№ досліду	Кодовані значення вхідних змінних				
	1	2	3	4	5
	x_1	x_2	x_1^2	x_2^2	$x_1 x_2$
1	-1	-1	1	1	1
2	-1	0	1	0	0
3	-1	1	1	1	-1
4	0	-1	0	1	0
5	0	0	0	0	0
6	0	1	0	1	0
7	1	-1	1	1	-1
8	1	0	1	0	0
9	1	1	1	1	1

Експеримент проводився на розробленій лабораторній установці з дослідження вогнезахисних властивостей [15]. В таблиці 3 представлені результати реалізації плану експерименту.

Таблиця 3 – Результати експерименту з дослідження вогнезахисної здатності покриттів ОВК, Ендотерм 40202 та Ендотерм ХТ-150

№ досліду	y_1	y_2	y_3
1	7	0	2
2	9	6	1
3	10	9	1
4	9	9	3
5	14	13	2
6	15	13	2
7	11	20	4
8	23	21	3
9	21	20	5

Розрахунок коефіцієнтів регресії проводився за формулою:

$$b_i = \frac{\sum_{u=1}^n x_{iu} y_u}{x_{iu}^2}, \quad (3)$$

де i – номер стовпця в матриці планування; x_{iu} - елементи i -того стовпця. Розраховані значення коефіцієнтів регресії представлені в таблиці 4.

Таблиця 4 – Значення коефіцієнтів регресії

Коефіцієнт регресії	Значення коефіцієнтів регресії		
	y_1	y_2	y_3
b_0	14,778	12,667	1,778
b_1	4,833	7,667	1,333
b_2	3,167	2,167	<u>-0,1667</u>
b_{11}	<u>0,833</u>	1	<u>0,333</u>
b_{22}	-3,167	-1,5	0,833
b_{12}	<u>1,75</u>	-2,25	0,5

Для перевірки значимості коефіцієнтів регресії знаходили його дисперсію за формулою:

$$S_{bi}^2 = \frac{S_y^2}{\sum_{u=1}^n x_{iu}^2}. \quad (4)$$

Дисперсія помилок досліду визначається за формулою:

$$S_y^2 = \frac{\sum_{u=1}^n \sum_{q=1}^m (y_q^{4i} - \bar{y}_u)^2}{n(m-1)}, \quad (5)$$

де m – число паралельних досвідів; n – число незалежних оцінок дисперсії.
Коефіцієнт регресії вважається значимим, якщо виконується нерівність:

$$|b_i| \geq \Delta b_i = t_{(0,05;f_y)} \cdot S_{b_i}, \quad (6)$$

де $t_{(0,05;f_y)}$ – 5 %-я точка розподілу Стьюдента з f_y 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:

$$F = \frac{S_{ад}^2}{S_y^2} \leq F_{(0,05;f_{ад};f_y)}, \quad (7)$$

де дисперсія адекватності $S_{ад}^2 = \frac{\sum_{u=1}^n (\bar{y}_u - y_{\text{мод}})^2}{f_{ад}}$; $y_{\text{мод}}$ – розрахункове значення відгуку

в i - тому досліді; $f_{(0,05;3;9)}$ – 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 досліду.

Результати перевірки значимості коефіцієнтів регресії та адекватності моделі представлені в таблиці 5.

Таблиця 5 – Статистичний аналіз рівнянь регресії

Коефіцієнт регресії	Значення коефіцієнтів регресії		
	y_1	y_2	y_3
S_y^2	5,176	0,139	0,259
Δb_0	2,883	0,472	0,645
Δb_1	1,579	0,258	0,353
Δb_2	1,579	0,258	0,353
Δb_{11}	2,735	0,448	0,612
Δb_{22}	2,735	0,448	0,612
Δb_{12}	1,934	0,316	0,432
$S_{b_i}^2$	1,553	0,417	0,778
$f_{ад}$	3	3	3
F	5,176	0,139	0,259
$F_{(0,05;3;9)}$	2,883	0,472	0,645

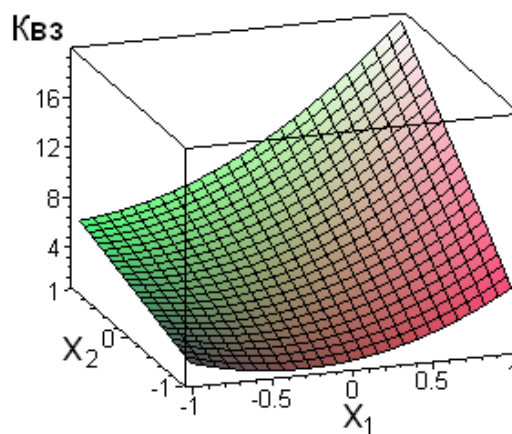
Статистичний аналіз рівнянь регресії показав, що отримані рівняння регресії адекватні експериментальним даним при рівні значимості 0,05. Проте деякі коефіцієнти регресії являються не значимими, так як накриваються довірчими інтервалами і відповідно рівні нулю:

$$y_1 = 14,778 + 4,833 x_1 + 3,167 x_2 - 3,167 x_2^2; \quad (8)$$

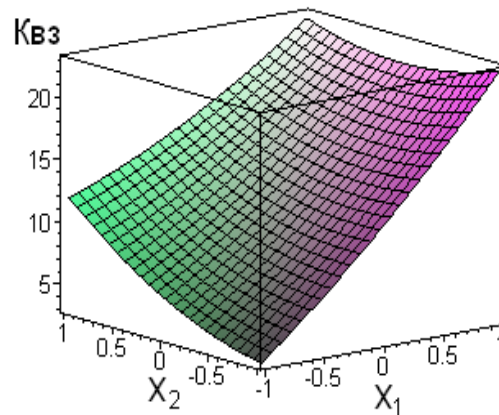
$$y_2 = 12,667 + 7,667 x_1 + 2,167 x_2 + x_1^2 + 1,5 x_2^2 - 2,25 x_1 x_2; \quad (9)$$

$$y_3 = 1,778 + 1,353 x_1 + 0,833 x_2^2 + 0,5 x_1 x_2. \quad (10)$$

За допомогою програми «Maple» за отриманими рівняннями регресії були побудовані поверхні відгуків (рис. 1), що дають можливість зорового сприйняття відповідного геометричного образу.



а)



б)

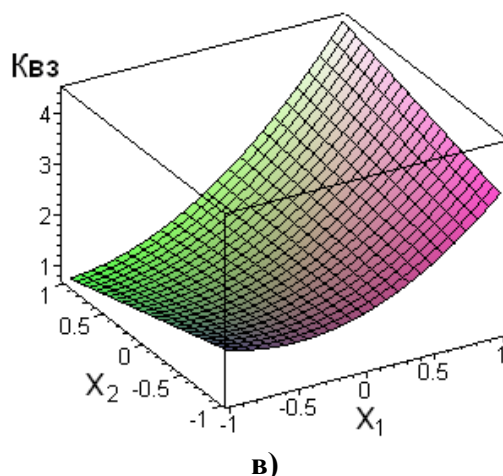


Рисунок 1 – Поверхні відгуків залежності від факторів (x_1 , x_2) коефіцієнта вогнезахисної здатності реактивних покриттів: а) ОВК y_1 , б) Едотерм 40202 y_2 , в) Ендотерм ХТ-150 y_3

З отриманих поверхонь відгуків залежності коефіцієнта вогнезахисної здатності від товщини покриття та швидкості нагрівання (рис. 1) видно, що зміна коефіцієнта вогнезахисної здатності від відповідних факторів носить переважно квадратичний характер. При зростанні швидкості нагрівання та товщини покриття коефіцієнт вогнезахисної здатності покриття теж підвищується. А при інтенсивності нагрівання більше $30\text{ }^\circ\text{C/хв.}$ спостерігається різкий стрибок коефіцієнта вогнестійкості.

Висновки. На основі отриманих даних під час проведення та обробки результатів експерименту, встановлено, що кожне реактивне покриття під час нагрівання поводить себе індивідуально, проте прослідковується загальна тенденція відсутності вогнезахисного ефекту при повільному нагріванні. В зв'язку з цим є необхідним удосконалення існуючих методів випробування даних покриттів.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Ройтман В.М. Инженерные решения по оценке огнестойкости проектируемых и реконструируемых зданий / Ройтман В.М. – М.: Ассоциация «Пожарная безопасность и наука». 2001. — 382 с.
2. 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.
3. 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.
4. 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.
5. 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.
6. Lie T.T. Characteristic temperature curves for various fire severities / Lie T.T. // Fire Technol. – 1974 (10). – № 4. - P. 315-326.

7. Rubini. P., SOFIE - Simulation of Fires in Enclosures, V 3.0 Users guide, School of Mechanical Engineering, Granfield University (UK), 2000.
8. Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги: ДСТУ Б.В. 1.1-4-98. – [Чинний від 1999-03-01]. – К. – Державний комітет будівництва, архітектури та житлової політики України, 1998. – 20 с. – (Національний стандарт України).
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.
12. Определение теплоизолирующих свойств огнезащитных покрытий по металлу: Методика. – М.: ВНИИПО, 1998. - 19 с.
13. Винарский М.С. Планирование эксперимента в технологических исследованиях / М.С. Винарский, М.В. Лурье. – Киев: Технпса, 1975. – 168 с.
14. Андронов В.А. Дослідження вогнезахисних властивостей реактивних покриттів для металевих конструкцій з урахуванням температурних режимів реальних пожеж/ Андронов В.А., Рибка Є.О. // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: НУГЗУ, 2011. – Вып. 29. – С. 8 – 17.
15. 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.

