

УДК 614.841.45

## ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ ЩОДО ТРИВАЛОСТІ ВОГНЕВОГО ВПЛИВУ ДО ДОСЯГНЕННЯ КРИТИЧНОЇ ТЕМПЕРАТУРИ СТАЛІ, ОТРИМАНИХ ДЛЯ СТАНДАРТИЗОВАНИХ ЗРАЗКІВ І ЗРАЗКІВ ЗМЕНШЕНИХ РОЗМІРІВ З ВОГНЕЗАХИСНИМИ МАТЕРІАЛАМИ «ЕНДОТЕРМ 400202» І «ЕНДОТЕРМ 210104»

С.В. Новак\*<sup>1</sup>, канд. техн. наук, ст. наук. співроб., В.Л. Дріжд<sup>2</sup>, канд. техн. наук, О.В. Добростан<sup>1</sup>, канд. техн. наук

<sup>1</sup>Український науково-дослідний інститут цивільного захисту, Україна

<sup>2</sup>Науково-виробниче підприємство «Спецматеріали», Україна

### ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 31.10.2018

Пройшла рецензування: 11.12.2018

### КЛЮЧОВІ СЛОВА:

вогнезахисна здатність, вогнезахисний матеріал, приведена товщина, критична температура сталі, межа вогнестійкості, сталева конструкція, стандартизований зразок.

### АНОТАЦІЯ

Наведено результати визначення збіжності експериментальних даних щодо тривалості вогневого впливу за стандартним температурним режимом до досягнення критичної температури сталі, отриманих для стандартизованих зразків (колон) і зразків зменшених розмірів (пластин) із застосуванням реактивного вогнезахисного матеріалу «Ендотерм 400202», що спучується під тепловим впливом в умовах пожежі, та пасивного вогнезахисного матеріалу (плити) «Ендотерм 210104». Встановлено діапазони відхилення значень цієї тривалості, визначених для зразків зменшених розмірів, від експериментальних даних, отриманих на стандартизованих зразках. Показано, що значення цього відхилення залежить від приведеної товщини сталевого профілю та критичної температури сталі. Надано аналіз отриманих залежностей.

Для оцінювання вогнезахисної здатності вогнезахисних матеріалів, призначених для захисту несучих сталевих конструкцій, проводять випробування відповідно до EN 13381-4 [1] (для пасивних вогнезахисних матеріалів) або EN 13381-8 [2] (для реактивних вогнезахисних матеріалів). В Україні є чинним ДСТУ Б В.1.1-17 [3], який відповідний зазначеним європейським стандартам. Під час цих випробувань застосовують сталеві колони висотою 1,0 м (в деяких випадках – і додаткову колону висотою 2,0 м) і сталеві балки довжиною 4,0 м і 1,0 м різних профілів (зі зведеною товщиною сталевого профілю ( $V/A_m$ ) від 3,7 мм до 14,3 мм), на які нанесено вогнезахисні матеріали. Стандартний набір цих профілів зазвичай містить 10 колон та 4 балки. При випробуваннях зазначені колони і балки встановлюють у піч, піддають вогневному впливу за стандартним температурним режимом і вимірюють температуру у визначених місцях на їх поверхні. Для оцінювання вогнезахисної здатності вогнезахисного матеріалу використовують отримані під час випробувань експериментальні дані щодо температури сталевих колон (їх випробовують без навантаження). Ці експериментальні дані в подальшому коригують з урахуванням здатності вогнезахисного матеріалу до зчеплення та (або) здатності залишатися неушкодженим під час вогневого впливу і деформації сталевих конструкцій. Дані стосовно

цих здатностей визначають за результатами порівняння значень температури поверхні на навантажених (довгих) і ненавантажених (коротких) балках, а також на високій та низькій колоні (при оцінюванні реактивних вогнезахисних матеріалів). Користуючись одним із методів оцінювання експериментальних даних, наведених у вищенаведених стандартах, отримують низку таблиць, які стосуються проміжків часу вогневого впливу, що відповідають значенням нормованої межі вогнестійкості 15 хв, 30 хв, 45 хв, 60 хв, 120 хв, 180 хв і 240 хв. Кожна таблиця показує мінімальну товщину вогнезахисного матеріалу, необхідну для того, щоб для сталевих конструкцій, що характеризуються різними значеннями зведеної товщини ( $V/A_m$ ), не було перевищено величини критичної температури сталі 350 °С, 400 °С, 450 °С, 500 °С, 550 °С, 600 °С, 650 °С, 700 °С, 750 °С.

Реалізація зазначених в EN 13381-4 [1], EN 13381-8 [2] і ДСТУ Б В.1.1-17 [3] методів вимагає значних матеріальних витрат на створення і підготовку стандартизованих зразків (сталевих колон і балок, на які нанесено вогнезахисний матеріал) та проведення випробувань. У той же час для попереднього оцінювання і контролювання вогнезахисної здатності вогнезахисних матеріалів для несучих сталевих конструкцій встановлено методи, у яких

замість зазначених стандартизованих зразків використовують зразки зменшених розмірів – квадратні сталеві пластини зі стороною 500 мм завтовшки 5 мм і 10 мм, на обігрівну поверхню яких нанесено вогнезахисний матеріал, з шаром теплової ізоляції з їх необігрівного боку [4 – 6]. Зразки таких же розмірів також застосовують при оцінюванні надійності вогнезахисних матеріалів для несучих сталевих конструкцій, яке проводять за методами, визначеними у настановах щодо технічного схвалення вогнезахисних матеріалів в Європі ETAG № 018-2 [7], ETAG № 018-3 [8].

На теперішній час відсутні відомості стосовно збіжності експериментальних даних щодо температури сталевих конструкцій, отриманих під час випробувань із застосуванням стандартизованих зразків і зразків зменшених розмірів. Це стримує впровадження зазначеного вище метода оцінювання, заснованого на застосуванні сталевих пластин, зокрема, для обґрунтування оптимальних значень товщини вогнезахисних матеріалів на зразках сталевих конструкцій при їх випробуваннях за EN 13381-4 [1], EN 13381-8 [2], ДСТУ Б В.1.1-17 [3], ДСТУ Б В.1.1-13 [9], ДСТУ Б В.1.1-14 [10], а також для встановлення оптимального складу вогнезахисних матеріалів для несучих сталевих конструкцій під час їх розроблення та модифікації. Тому за мету даної роботи було поставлено визначення збіжності експериментальних даних щодо тривалості вогневого впливу до досягнення критичної температури сталі, отриманих для стандартизованих зразків і зразків зменшених розмірів.

Для досягнення поставленої мети за методами, в яких використовують стандартизовані зразки і зразки зменшених розмірів, проведено визначення даних щодо тривалості вогневого впливу до досягнення критичної температури сталі для реактивного вогнезахисного матеріалу «Ендотерм 400202» [11], що спучується під тепловим впливом в умовах пожежі, та пасивного вогнезахисного матеріалу (плити) «Ендотерм 210104» [12] та їх порівняння.

#### Методи і результати досліджень

Для визначення даних щодо тривалості вогневого впливу до досягнення критичної температури сталі на зразках зменшених розмірів із вогнезахисними матеріалами «Ендотерм 400202» і «Ендотерм 210104» (далі – реактивний і пасивний вогнезахисний матеріал) застосовано метод [4 – 6], який полягає в експериментальному визначенні нестационарного прогріву вогнезахисного матеріалу в умовах вогневого впливу за стандартним температурним режимом при застосуванні в якості основи для зразків сталеві пластини квадратної форми зі стороною 500 мм і товщиною 5 мм та 10 мм, а також шару теплової ізоляції на необігрівній поверхні зразків. За результатами вимірювань температури сталевих пластин, на які нанесено вогнезахисний матеріал, для кожного зразка визначали значення тривалості  $t_{cr}$  вогневого впливу до досягнення на цих пластинах критичної температури сталі в діапазоні від 350 °C до 600 °C (з кроком 50 °C). Отримані результати визначення цих значень наведено в таблицях 1, 2.

Таблиця 1 – Значення тривалості вогневого впливу до досягнення критичної температури для сталевих пластин з реактивним вогнезахисним матеріалом

| Критична температура сталі $\theta_{cr}$ , °C |                                       |   | 350                               | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 |
|---|---------------------------------------|---|-----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|
| № зразка                                      | Товщина сталевієї пластини $d_a$ , мм | Товщина вогнезахисного матеріалу $d_p$ , мм | Значення тривалості $t_{cr}$ , хв |     |     |     |     |     |
| 1   | 5                                     | 0,55  | 17                                | 22  | 26  | 30  | 33  | 37  |
| 2   | 5                                     | 1,33  | 27                                | 36  | 42  | 48  | 53  | 58  |
| 3   | 5                                     | 1,89  | 35                                | 44  | 51  | 57  | 62  | 67  |
| 4   | 10                                    | 0,64  | 23                                | 29  | 34  | 39  | 43  | 49  |
| 5   | 10                                    | 1,61  | 39                                | 47  | 55  | 62  | 68  | 74  |
| 6   | 10                                    | 1,80  | 43                                | 54  | 63  | 70  | 77  | 84  |

Таблиця 2 – Значення тривалості вогневого впливу до досягнення критичної температури для сталевих пластин з пасивним вогнезахисним матеріалом

| Критична температура сталі $\theta_{cr}$ , °C |                                       |   | 350                               | 400 | 450  | 500 | 550 | 600 |
|---|---------------------------------------|---|-----------------------------------|-----|------|-----|-----|-----|
| № зразка                                      | Товщина сталевієї пластини $d_a$ , мм | Товщина вогнезахисного матеріалу $d_p$ , мм | Значення тривалості $t_{cr}$ , хв |     |      |     |     |     |
|   |                                       |   | 1                                 | 5   | 20,0 | 47  | 53  | 59  |
| 2   | 5                                     | 40,0  | 111                               | 124 | 138  | 154 | 172 | –   |
| 3   | 10                                    | 20,0  | 67                                | 77  | 87   | 98  | 110 | 122 |
| 4   | 10                                    | 40,0  | 136                               | 152 | 169  | –   | –   | –   |

Визначення даних щодо тривалості вогневого впливу до досягнення критичної температури сталі на стандартизованих зразках (коротких колонах заввишки 1,0 м) проведено за методом, наведеним в ДСТУ Б В.1.1-17 [3]. Реактивний вогнезахисний матеріал наносили на поверхню сталевих профілів, а із застосуванням пасивного вогнезахисного

матеріалу створювали коробчасту систему вогнезахисту прямокутного перерізу, як показано на рисунку 1. Параметри стандартизованих зразків і результати визначення значень тривалості  $t_{cr}$  вогневого впливу до досягнення критичної температури на цих зразках наведено в таблицях 3 – 6.



Рисунок 1 – Профільована (а) і коробчаста (б) системи вогнезахисту

Таблиця 3 – Параметри стандартизованих зразків з реактивним вогнезахисним матеріалом

| № зразка | Типорозмір сталевого профілю | Зведена товщина сталевого профілю $(I/A_m)$ , мм | Товщина вогнезахисного матеріалу $d_p$ , мм |
|----------|------------------------------|--|---|
| 1        | IPE200                       | 3,266  | 1,193                                       |
| 2        | IPE200                       | 3,266  | 1,854                                       |
| 3        | HEA200                       | 4,268  | 0,429                                       |
| 4        | HEA200                       | 4,268  | 1,919                                       |
| 5        | HEA300                       | 5,886  | 0,385                                       |
| 6        | HEA300                       | 5,886  | 1,886                                       |
| 7        | HEB300                       | 7,710  | 0,413                                       |
| 8        | HEB450                       | 9,798  | 1,992                                       |
| 9        | HEM280                       | 13,050   | 1,155                                       |
| 10       | HEM280                       | 13,050   | 0,373                                       |

Таблиця 4 – Параметри стандартизованих зразків з пасивним вогнезахисним матеріалом

| № зразка | Типорозмір сталевого профілю | Зведена товщина сталевого профілю ( $V/A_m$ ), мм | Товщина вогнезахисного матеріалу $d_p$ , мм |
|----------|------------------------------|---|---|
| 1        | IPE200                       | 4,41  | 40,2  |
| 2        | IPE200                       | 4,41  | 60,4  |
| 3        | HEA200                       | 6,30  | 19,3  |
| 4        | HEA200                       | 6,30  | 40,4  |
| 5        | HEA200                       | 6,30  | 60,8  |
| 6        | HEA300                       | 8,82  | 20,8  |
| 7        | HEA300                       | 8,82  | 40,8  |
| 8        | HEB300                       | 11,53   | 20,3  |
| 9        | HEB450                       | 13,56   | 40,2  |
| 10       | HEM280                       | 18,82   | 19,8  |

Таблиця 5 – Значення тривалості вогневого впливу до досягнення критичної температури для сталевих колон з реактивним вогнезахисним матеріалом

| Критична температура сталі $\theta_{cr}$ , °C | 350                               | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 | 650 | 700 | 750 |
|---|-----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| № зразка                                      | Значення тривалості $t_{cr}$ , хв |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 1   | 21                                | 29  | 36  | 42  | 47  | 52  | 57  | –   | –   |
| 2   | 32                                | 41  | 48  | 54  | 60  | 65  | 71  | 78  | 87  |
| 3   | 15                                | 20  | 24  | 28  | 32  | 35  | 39  | 43  | 48  |
| 4   | 35                                | 46  | 55  | 61  | 68  | 74  | 81  | 88  | 98  |
| 5   | 17                                | 23  | 28  | 32  | 35  | 39  | 43  | 48  | 54  |
| 6   | 37                                | 52  | 62  | 71  | 79  | 87  | 95  | –   | –   |
| 7   | 19                                | 25  | 30  | 34  | 38  | 42  | 46  | 51  | 58  |
| 8   | 48                                | 61  | 73  | 83  | 93  | 103 | 114 | –   | –   |
| 9   | 41                                | 54  | 65  | 72  | 81  | 90  | 99  | 111 | –   |
| 10  | 25                                | 32  | 38  | 44  | 48  | 53  | 58  | –   | –   |

Таблиця 6 – Значення тривалості вогневого впливу до досягнення критичної температури для сталевих колон з пасивним вогнезахисним матеріалом

| Критична температура сталі $\theta_{cr}$ , °C | 350                               | 400 | 450 | 500 | 550 | 600 | 650 | 700 | 750 |
|---|-----------------------------------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| № зразка                                      | Значення тривалості $t_{cr}$ , хв |     |     |     |     |     |     |     |     |
| 1   | 108                               | 115 | 123 | 131 | 140 | 149 | 160 | 174 | –   |
| 2   | 214                               | 225 | 237 | 249 | 261 | 273 | 288 | –   | –   |
| 3   | 51                                | 55  | 60  | 65  | 71  | 78  | 85  | 95  | 108 |
| 4   | 121                               | 130 | 139 | 149 | 159 | 170 | 183 | 198 | 219 |
| 5   | 239                               | 252 | 266 | 282 | 297 | –   | –   | –   | –   |
| 6   | 65                                | 73  | 81  | 90  | 99  | 110 | 122 | 137 | 157 |
| 7   | 143                               | 155 | 167 | 180 | 194 | 210 | 227 | 247 | –   |
| 8   | 73                                | 81  | 91  | 101 | 112 | 124 | 139 | 155 | 176 |
| 9   | 165                               | 181 | 197 | 213 | 231 | 250 | 263 | 275 | 289 |
| 10  | 95                                | 108 | 121 | 134 | 149 | 166 | –   | –   | –   |

Ураховуючи те, що наведені в таблицях 3, 4 значення зведеної товщини сталевого профілю ( $V/A_m$ ) відрізняються від товщини сталевих пластин (див. табл. 1, 2), для порівняння даних щодо тривалості  $t_{cr}$ , отриманих на стандартизованих зразках і зразках зменшених розмірів, впроваджено таку процедуру інтерполяції та екстраполяції даних щодо тривалості  $t_{cr}$ , наданих в таблицях 1, 2.

Проведено апроксимацію зазначених в таблицях 1, 2 даних щодо тривалості  $t_{cr}$ , застосовуючи рівняння числової лінійної

регресії (1), яке встановлює залежність між тривалістю вогневого впливу до досягнення критичної температури сталі від товщини вогнезахисного матеріалу та товщини сталеві пластини, і визначено значення восьми констант  $a_0 - a_7$  цього рівняння, які наведено у таблиці 7. При цьому середньоквадратичне відхилення розрахункових значень тривалості  $t_{cr}$ , визначених за рівнянням (1), від табличних даних становить 3,2 % для реактивного вогнезахисного матеріалу і 1,2 % для пасивного вогнезахисного матеріалу.

$$t_{cr} = a_0 + a_1 d_p + a_2 d_p d_a + a_3 \theta_{cr} + a_4 d_p \theta_{cr} + a_5 d_p d_a \theta_{cr} + a_6 d_a \theta_{cr} + a_7 d_a, \tag{1}$$

- де  $t_{cr}$  – тривалість вогневого впливу до досягнення критичної температури сталі  $\theta_{cr}$ , хв;
- $d_p$  – товщина вогнезахисного матеріалу, мм;
- $d_a$  – товщина сталеві пластини, мм;
- $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5, a_6, a_7$  – константи (коефіцієнти регресії).

За рівнянням (1) із застосуванням констант  $a_0 - a_7$ , наведених в таблиці 7, для зазначених в таблицях 3, 4 параметрів стандартизованих зразків (зведена товщина

сталевого профілю, товщина вогнезахисного матеріалу) визначали розрахункові значення часу  $t_{cr,cul}$  досягнення критичної температури сталі для зразків зменшених розмірів.

Таблиця 7 – Результати визначення коефіцієнтів регресії

| Значення коефіцієнтів регресії    |          |        |          |          |          |          |          |          |
|-----------------------------------|----------|--------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                                   | $a_0$    | $a_1$  | $a_2$    | $a_3$    | $a_4$    | $a_5$    | $a_6$    | $a_7$    |
| Реактивний вогнезахисний матеріал | -11,46   | 1,650  | -0,02357 | 0,05504  | 0,02566  | 0,002193 | 0,001461 | -0,1104  |
| Пасивний вогнезахисний матеріал   | 0,001058 | 0,1528 | -0,02790 | -0,09795 | 0,008096 | 0,000141 | 0,011072 | -0,00886 |

За формулою (2) розраховували відхилення  $\delta_{t,cul}$  значень тривалості  $t_{cr,cul}$ , визначених для зразків зменшених розмірів за рівнянням (1), від експериментальних даних  $t_{cr}$ , отриманих на стандартизованих зразках (див. таблиці 5, 6). Результати цих розрахунків наведено на рисунках 2, 3. Середнє арифметична величина відхилень  $\delta_{t,cul,avg}$ , розраховане за формулою (3) для загальної кількості відхилень, складає -9,5 % і 4,7 % для реактивного і пасивного вогнезахисних матеріалів, відповідно. За формулою (4) визначено середньоквадратичне відхилення  $F_t$ , яке для реактивного вогнезахисного матеріалу становить 12,1 %, а для пасивного вогнезахисного матеріалу 10,8 %.

$$\delta_{t,cul} = 100 (t_{cr,cul} - t_{cr}) / t_{cr}, \tag{2}$$

$$\delta_{t,cul,avg} = \sum_{j=1}^m (\delta_{t,cul_j}) \cdot m^{-1}, \tag{3}$$

$$F_t = \left[ \sum_{j=1}^m (\delta_{t,cul_j})^2 \right]^{0,5} \cdot m^{-0,5}, \tag{4}$$

де  $m$  – кількість відхилень  $\delta_{t,cul}$ .

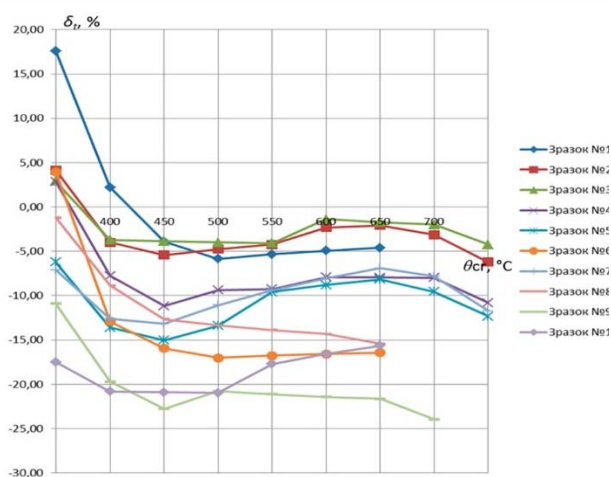


Рисунок 2 – Залежність відхилення  $\delta_{t,crit}$  від критичної температури сталі  $\theta_{cr}$  для реактивного вогнезахисного матеріалу

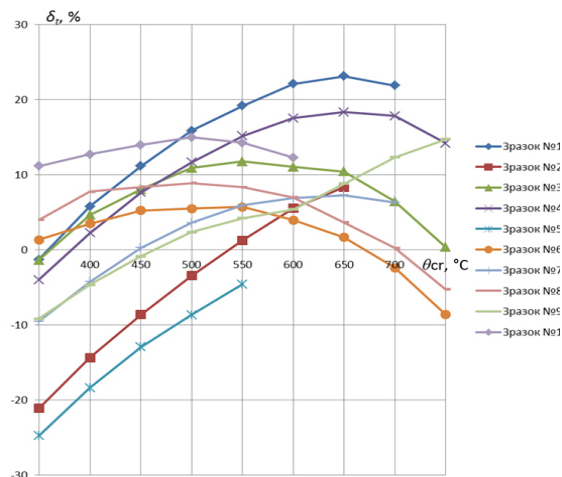


Рисунок 3 – Залежність відхилення  $\delta_{t,crit}$  від критичної температури сталі  $\theta_{cr}$  для пасивного вогнезахисного матеріалу

З аналізу отриманих розрахункових даних випливає, що для реактивного вогнезахисного матеріалу (див. рис. 2) значення відхилення  $\delta_{t,crit}$  знаходяться в діапазоні від -24,0 % до 17,6 %. При цьому більша частина цих відхилень (93 %) має від’ємні значення (тривалість вогневого впливу до досягнення критичної температури сталі, визначена для більшості зразків зменшених розмірів, не перевищує експериментальні дані, отримані для стандартизованих зразків). Середнє арифметична величина усіх відхилень  $\delta_{t,crit,avg}$  складає -9,5 %. Найбільші від’ємні величини відхилення мають місце для зразків з найбільшим значенням зведеної товщини ( $V/A_m = 13,050$  мм, зразки № 9, № 10), зі зменшенням цієї товщини значення відхилення зменшується (за модулем). Найбільші додатні величини відхилення мають місце для зразків з найменшим значенням зведеної товщини ( $V/A_m = 3,266$  мм, зразки № 1, № 2) за критичної температури 350 °С. Тобто найбільші відхилення (за модулем) мають місце для зразків, у яких величина зведеної товщини не попадає до діапазону значень товщини сталевих пластин (від 5 мм до 10 мм), за яких проводили випробування на зразках зменшених розмірів. Спостерігається закономірність стосовно залежності відхилення від критичної температури сталі. З підвищенням значення критичної температури від 350 °С до 450 °С (а у деяких

зразках – до 500 °С або більше) відхилення зменшується. При подальшому зростанні цієї температури відхилення підвищується (до температури 650 °С), а потім знижується.

Для пасивного вогнезахисного матеріалу (див. рис. 3) значення відхилення  $\delta_{t,crit}$  знаходяться в діапазоні від -24,7 % до 23,1 %. При цьому більша частина цих відхилень (75 %) має додатні значення (тривалість вогневого впливу до досягнення критичної температури сталі, визначена для більшості зразків зменшених розмірів, перевищує експериментальні дані, отримані для стандартизованих зразків). Середнє арифметична величина усіх відхилень  $\delta_{t,crit,avg}$  складає -4,7 %. Найбільші від’ємні величини відхилення мають місце для зразка № 5 зі значенням зведеної товщини 6,30 мм, найбільші додатні значення відхилення – для зразка № 1 зі зведеною товщиною 4,41 мм. Спостерігається закономірність стосовно залежності значення відхилення від критичної температури сталі. З підвищенням критичної температури від 350 °С до 500 °С (а у деяких зразках – до 550 °С або більше) відхилення збільшується. При подальшому зростанні цієї температури величина відхилення знижується.

Розраховано за формулою (3) середнє для десяти зразків значення відхилення  $\delta_{t,crit,avg}$  для різної критичної температури сталі. Отримані розрахунків дані наведено в таблиці 8 та на рисунку 4.

Таблиця 8 – Результати розрахунку середнього значення відхилення  $\delta_{t,cul,avg}$  для різної критичної температури сталі

| Критична температура сталі $\theta_{cr}, ^\circ\text{C}$ | 350  | 400    | 450    | 500    | 550    | 600    | 650    | 700   | 750   |
|--|--|--------|--------|--------|--------|--------|--------|-------|-------|
| Тип вогнезахисного матеріалу                             | Середнє значення відхилення $\delta_{t,cul,avg}, \%$ |        |        |        |        |        |        |       |       |
| реактивний   | -1,14  | -10,17 | -12,49 | -12,05 | -11,14 | -10,23 | -10,06 | -9,07 | -9,07 |
| пасивний   | -5,46  | -0,48  | 3,25   | 6,19   | 8,14   | 10,22  | 10,23  | 8,97  | 3,09  |

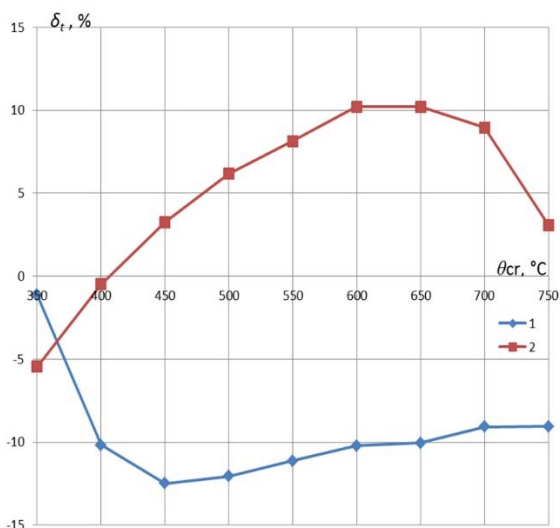


Рисунок 4 – Залежність середнього значення відхилення  $\delta_{t,cul,avg}$  від критичної температури сталі  $\theta_{cr}$  для реактивного (1) та пасивного (2) вогнезахисних матеріалів

З аналізу даних, наведених в таблиці 8 та на рис. 4, випливає, що для реактивного вогнезахисного матеріалу середнє значення відхилення  $\delta_{t,cul,avg}$  має від’ємну величину (від -1,1 % до -12,5 %) у всьому діапазоні критичної температури сталі, а для пасивного вогнезахисного матеріалу – від’ємну величину (від -0,5 % до -5,5 %) для діапазону критичної температури від 350 °C до 400 °C і додатну величину (до 10,2 %) для більшої температури. При цьому для реактивного вогнезахисного матеріалу середнє значення відхилення  $\delta_{t,cul,avg}$  збільшується (за модулем) при підвищенні критичної температури від 350 °C до 450 °C, а потім зменшується. Для пасивного вогнезахисного матеріалу максимальнє середнє значення відхилення  $\delta_{t,cul,avg}$  має місце за критичної температури 650 °C.

**Висновки.** Визначено збіжність експериментальних даних щодо тривалості вогневого впливу за стандартним температурним режимом до досягнення

критичної температури сталі, отриманих для стандартизованих зразків (колон) і зразків зменшених розмірів (пластин) із застосуванням реактивного вогнезахисного матеріалу «Ендотерм 400202», що спучується під тепловим впливом в умовах пожежі, та пасивного вогнезахисного матеріалу (плити) «Ендотерм 210104».

Встановлено, що відхилення значень тривалості вогневого впливу до досягнення критичної температури сталі, визначених для зразків зменшених розмірів, від експериментальних даних, отриманих на стандартизованих зразках, становлять, в середньому, -9,5 % і 4,7 % для реактивного і пасивного вогнезахисних матеріалів, відповідно. При цьому для реактивного вогнезахисного матеріалу значення цього відхилення знаходяться в діапазоні від -24,0 % до 17,6 % і більша їх частина (93 %) має від’ємні величини (тривалість вогневого впливу до досягнення критичної температури сталі, визначена для більшості зразків зменшених розмірів, не перевищує експериментальні дані, отримані для стандартизованих зразків). Для пасивного вогнезахисного матеріалу значення відхилення знаходяться в діапазоні від -24,7 % до 23,1 % і більша їх частина (75 %) має додатні величини (тривалість вогневого впливу до досягнення критичної температури сталі, визначена для більшості зразків зменшених розмірів, перевищує експериментальні дані, отримані для стандартизованих зразків). Середньоквадратичнє відхилення становить 12,1 % і 10,8 % відповідно для реактивного і пасивного вогнезахисних матеріалів.

Встановлено закономірність стосовно залежності значення відхилення від критичної температури сталі. Для реактивного вогнезахисного матеріалу з підвищенням значення критичної температури від 350 °C до 450 °C (а у деяких зразках – до 500 °C або більше) відхилення зменшується. При подальшому зростанні цієї температури відхилення підвищується (до температури 650

°С), а потім знижується. Для пасивного вогнезахисного матеріалу з підвищенням критичної температури від 350 °С до 500 °С (а у деяких зразках – до 550 °С або більше) відхилення збільшується. При подальшому зростанні цієї температури величина відхилення знижується. Для реактивного вогнезахисного матеріалу середнє (для певної критичної температури сталі) значення відхилення має від’ємну величину (від -1,1 % до -12,5 %) у всьому діапазоні критичної температури сталі, а для пасивного вогнезахисного матеріалу – від’ємну величину (від -0,5 % до -5,5 %) для діапазону критичної температури від 350 °С до 400 °С і додатну величину (до 10,2 %) для більшої температури.

У подальшому є доцільним за отриманими експериментальними даними щодо тривалості вогневого впливу за стандартним температурним режимом до досягнення критичної температури сталі провести оцінку відхилення між значеннями мінімальної товщини вогнезахисного матеріалу (реактивного і пасивного), за яких забезпечується нормована межа вогнестійкості, визначеними за даними випробувань стандартизованих зразків і зразків зменшених розмірів. Ця оцінка сприятиме вирішенню питання щодо обґрунтування впровадження метода, заснованого на застосуванні сталевих пластин.

### СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. EN 13381-4:2013 Test methods for determining the contribution to the fire resistance of structural members – Part 4: Applied passive protection to steel members (Методи випробування з метою визначення впливу на вогнестійкість елементів конструкцій – Частина 4: Пасивні вогнезахисні матеріали для сталевих конструкцій).
2. 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 (Методи випробування з метою визначення впливу елементів конструкцій на вогнестійкість – Частина 8: Реактивні вогнезахисні матеріали для сталевих конструкцій).
3. ДСТУ Б В.1.1-17:2007 Вогнезахисні покриття для будівельних несучих металевих конструкцій. Метод визначення вогнезахисної здатності.
4. ДСТУ-Н-П Б В.1.1-29:2010 Захист від пожежі. Вогнезахисне оброблення будівельних конструкцій. Загальні вимоги та методи контролювання.
5. 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 – 23.
6. Оцінювання збіжності результатів експериментального визначення тривалості вогневого впливу до досягнення критичної температури сталі / С.В. Новак, О.В. Добростан, Ю.В. Долішній, О.В. Ратушний // Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека. – К.: УкрНДІЦЗ, 2017. – № 2 (4). – С. 122 – 126.
7. ETAG № 018-2:2013 Guide for the European technical approval of fire protective products – Part 2: Reactive coatings for fire protection of steel elements (Настанови щодо технічного схвалення вогнезахисних матеріалів в Європі – Частина 2: Реактивні вогнезахисні матеріали для захисту сталевих конструкцій).
8. ETAG № 018-3:2013 Guide for the European technical approval of fire protective products – Part 3: Renderings and rendering kits intended for fire resisting applications (Настанови щодо технічного схвалення вогнезахисних матеріалів в Європі – Частина 3: Штукатурка і комплекти, до складу яких вона входить, для забезпечення вогнезахисту).
9. ДСТУ Б В.1.1-13:2007 Захист від пожежі. Балки. Метод випробування на вогнестійкість (EN 1365-3:1999, NEQ).
10. ДСТУ Б В.1.1-14:2007 Захист від пожежі. Колони. Метод випробування на вогнестійкість (EN 1365-4:1999, NEQ).
11. ТУ У 13481691.005-2001 Суміш для вогнезахисного покриття “Ендотерм 400201”, “Ендотерм 400202”, “Ендотерм 650202”, “Ендотерм 250103”. Технічні умови.
12. ТУ У 24.3-13481691-007-2003 Склад для покриття «Ендотерм 210104». Технічні умови.
13. Новак С.В. Оценка огнезащитной способности вермикулито-цементной плиты «Эндотерм 210104» стандартизированными методами / С.В. Новак, П.Г. Круковский, Н.Б. Григорьян // Науковий вісник: Цивільний захист та пожежна безпека. – 2017. – № 1 (3). – С. 11 – 18.



**COMPARATIVE ANALYSIS OF EXPERIMENTAL DATA ON THE DURATION OF FIRE EXPOSURE UNTIL THE CRITICAL TEMPERATURE OF STEEL OBTAINED FOR STANDARDIZED SAMPLES AND SAMPLES OF REDUCED SIZES WITH FIREPROOF MATERIALS "ENDOTERM 400202" AND "ENDOTERM 210104"**

S. Novak<sup>1</sup>, Cand. of Sc. (Eng.), Senior Fellow, V. Drizhd<sup>2</sup>, Cand. of Sc. (Eng.), O. Dobrostan<sup>1</sup>, Cand. of Sc. (Eng.)

<sup>1</sup> The Ukrainian Civil Protection Research Institute, Ukraine

<sup>2</sup> Scientific and manufacturing enterprise "Spetsmaterialy", Ukraine

---

**KEYWORDS**

fireproof ability, fireproof material, effective thickness, critical temperature of steel, limit of fire resistance, steel construction, standardized sample.

**ANNOTATION**

The results of the determination of the convergence of experimental data on the duration of fire exposure under the standard temperature regime until the critical temperature of steel obtained for standardized samples (columns) and samples of reduced sizes (plates) with the use of the reactive fireproof material "Endoterm 400202", flowing under the thermal influence in fire conditions, and passive fireproof material (plates) «Endoterm 210104». It has been established that the deviation of the values of the duration of fire exposure to achievement the critical temperature of steel, determined for samples of reduced sizes, from the experimental data obtained on standardized samples, is, on average, – 9,5% and 4,7% for reactive and passive fireproof materials, respectively. In this case, for a reactive fireproof material the value of this deviation is in the range from -24,0 % to 17,6 %, and most of it (93 %) has negative values (the duration of fire exposure until the critical temperature of steel, determined for most samples reduced sizes does not exceed the experimental data obtained for standardized samples). For a passive fireproof material, the values of deviation are in the range from -24,7 % to 23,1 %, and most of them (75 %) have positive values (the duration of fire exposure until the critical temperature of steel, determined for most samples of reduced sizes, exceeds the experimental data obtained for standardized samples). The average deviation is 12,1 % and 10,8 %, respectively, for reactive and passive fireproof materials. A regularity is established regarding the dependence of the deviation value of the critical temperature of steel. For a reactive fireproof material, with a increase of the critical temperature from 350 °C to 450 °C (and in some samples – up to 500 °C or more) the deviation decreases. With a further increase of this temperature, the deviation increases (up to temperature of 650 °C), and then decreases. For a passive fireproof material with an increase of the critical temperature from 350 °C to 500 °C (and in some samples – up to 550 °C or more) the deviation increases. With a further increase of this temperature the value of the deviation decreases.

**СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ДАННЫХ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ОГНЕВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ДО ДОСТИЖЕНИЯ КРИТИЧЕСКОЙ ТЕМПЕРАТУРЫ СТАЛИ, ПОЛУЧЕННЫХ ДЛЯ СТАНДАРТИЗОВАННЫХ ТИПОВ И ОБРАЗЦОВ УМЕНЬШЕННОГО РАЗМЕРА С ОГНЕЗАЩИТНЫМИ МАТЕРИАЛАМИ «ЭНДОТЕРМ 400202» И «ЭНДОТЕРМ 210104»**

С.В. Новак\*<sup>1</sup>, канд. техн. наук, ст. научн. сотр., В.Л. Дрижд<sup>2</sup>, канд. техн. наук,

А.В. Добростан<sup>1</sup>, канд. техн. наук

<sup>1</sup>Украинский научно-исследовательский институт гражданской защиты, Украина

<sup>2</sup>Научно-производственное предприятие «Спецматериалы», Украина

---

**КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА**

огнезащитная способность, огнезащитный материал, приведенная толщина, критическая температура стали, предел огнестойкости, стальная конструкция, стандартизированный образец.

**АННОТАЦИЯ**

Приведены результаты определения сходимости экспериментальных данных продолжительности огневого воздействия при стандартном температурном режиме до достижения критической температуры стали, полученных для стандартизированных образцов (колонн) и образцов уменьшенных размеров (пластин) с применением реактивного огнезащитного материала «Эндотерм 400202», что вспучивается под тепловым воздействием пожара, и пассивного огнезащитного материала (плиты) «Эндотерм 210104». Установлены диапазоны отклонения значений длительности, определенных для образцов уменьшенных

---

размеров, по отношению экспериментальных данных, полученных для стандартизированных образцов. Показано, что значение этого отклонения зависит от приведенной толщины стального профиля и критической температуры стали. Представлен анализ полученных зависимостей.