

*Р.Б. Веселівський, канд. техн. наук, М.М. Семерак, д-р техн. наук, професор,
Р.С. Яковчук, канд. техн. наук
(Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

ТЕОРЕТИЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ВОГНЕСТІЙКОСТІ ОГОРОДЖУВАЛЬНОЇ КОНСТРУКЦІЇ З ФІБРОЛІТОВИМИ ПЛИТАМИ

Представлено напрямки досліджень будівельних конструкцій, будівель та споруд у сфері пожежної безпеки. З використанням математичного моделювання та функції Гріна, проведено розрахунок нестационарного температурного поля для огороджувальної конструкції з фібролітовими плитами. Аналітичним методом визначено межу вогнестійкості дослідного зразка за ознакою втрати теплоізолювальної здатності. Виконано порівняльний аналіз отриманих розрахункових та експериментальних значень межі вогнестійкості огороджувальної будівельної конструкції з фібролітовими плитами.

Ключові слова: вогнестійкість, теплоізолювальна здатність, нестационарне температурне поле, фіброліт.

Постановка проблеми. Важливим напрямком досліджень у сфері пожежної безпеки є визначення та вивчення теплотехнічних і теплофізичних властивостей будівельних матеріалів та конструкцій і їх поведінки під час пожежі. Такі дослідження та отримані результати слід використовувати в програмно-технічних комплексах для оцінки стійкості протипожежного стану будівель та споруд і створення теоретичних моделей, які інтегрують в собі сукупність основних характеристик і особливості їх взаємовпливу. Вогнестійкість будівельних конструкцій і будівель в цілому потребує теоретичних та експериментальних досліджень, а отримані дані можуть бути використані при створенні систем моніторингу протипожежного стану будівель та споруд.

Сьогодні у сфері будівництва є актуальним розв'язок задачі теплопровідності, тому у даній роботі розглядається багат шарова огороджувальна будівельна конструкція, для якої потрібно визначити межу вогнестійкості за ознакою втрати теплоізолювальної здатності.

Швидкість прогріву будівельних конструкцій і відповідно їхня межа вогнестійкості залежать від тепломасообміну матеріалів конструкції [1], а саме:

- коефіцієнта теплопровідності матеріалу;
- коефіцієнта питомої теплоємності матеріалу;
- коефіцієнта теплообміну (тепловіддачі);
- питомої густини матеріалу;
- температури середовища.

Для розв'язку задачі, пов'язаної з розподілом температурного поля по товщині конструкції, потрібно знати теплотехнічні властивості будівельних матеріалів та їх зміну в процесі розвитку пожежі.

Виклад основного матеріалу. Розглядається стінка, яка складається з n плоскопаралельних шарів, між якими виконуються умови ідеального контакту.

У початковий момент часу $\tau = 0$ температура стінки є сталою і дорівнює t_0 .

Одна із зовнішніх поверхонь нагрівається шляхом конвекційного теплообміну з навколишнім середовищем, температура якого змінюється за таким законом:

$$t_c(\tau) = A \ln(B\tau + 1) + t^* \quad (1)$$

де значення величин A , B та t^* визначається логарифмічною апроксимацією реальної температури пожежі. У випадку стандартного температурного режиму пожежі $A = \frac{345}{\ln 10}$,

$$B = \frac{2}{15}, t^* = t_0 = 20^\circ C.$$

Через протилежну поверхню відводиться конвекційний тепловий потік у середовище з температурою t_0 .

Нестаціонарне температурне поле описується рівнянням теплопровідності [2]:

$$\frac{\partial^2 t_k(x, \tau)}{\partial x^2} = \frac{1}{a_k} \frac{\partial t_k(x, \tau)}{\partial \tau} \quad (l_{k-1} < x < l_k, \tau > 0); \quad (2)$$

умови контакту:

$$t_k(l_k, \tau) = t_{k+1}(l_k, \tau),$$

$$\lambda_k \frac{\partial t_k(l_k, \tau)}{\partial x} = \lambda_{k+1} \frac{\partial t_{k+1}(l_k, \tau)}{\partial x}; \quad (3)$$

граничні умови:

$$\begin{aligned} \frac{\partial t_1(0, \tau)}{\partial x} &= H_1(t_1(0, \tau) - t_c(\tau)), \\ \frac{\partial t_n(l_n, \tau)}{\partial x} &= H_n(t_0 - t_n(l_n, \tau)); \end{aligned} \quad (4)$$

та початкові умови:

$$t_k(x, 0) = t_0, \quad (5)$$

де $l_k - l_{k-1}$ – товщина k -го шару ($l_0 = 0$); x – координата, м; τ – час, с; $t_k(x, \tau)$ – температура k -го шару, $^\circ C$; λ_k – коефіцієнт теплопровідності k -го шару, $\frac{Bm}{m \cdot K}$;

a_k – коефіцієнт температуропровідності k -го шару, $\frac{m^2}{c}$; $k = 1, 2, 3, \dots, n$;

$H_1 = \frac{\alpha_1}{\lambda_1}$, $H_n = \frac{\alpha_n}{\lambda_n}$, α_1 та α_n – коефіцієнти тепловіддачі поверхонь $x = 0$ та $x = l_n$ відповідно, $\frac{Bm}{m^2 \cdot K}$; $t_c(\tau)$ – температура середовища на поверхні $x = 0$, яка задається формулою (1), $[t_c(\tau)](^\circ C)$; $t_0 = const$, $^\circ C$.

Розв'язок задачі (2)-(5) будемо шукати у вигляді:

$$t_k(x, \tau) = \theta_k(x, \tau) + t_0, \quad (6)$$

де $\theta_k(x, \tau)$ – температурне поле яке задовольняє рівняння:

$$\frac{\partial^2 \theta_k(x, \tau)}{\partial x^2} = \frac{1}{a_k} \frac{\partial \theta_k(x, \tau)}{\partial \tau}, \quad (7)$$

умови контакту:

$$\theta_k(l_k, \tau) = \theta_{k+1}(l_k, \tau),$$

$$\lambda_k \frac{\partial \theta_k(l_k, \tau)}{\partial x} = \lambda_{k+1} \frac{\partial \theta_{k+1}(l_k, \tau)}{\partial x}; \quad (8)$$

граничні умови:

$$\frac{\partial \theta_1(0, \tau)}{\partial x} = H_1(\theta_1(0, \tau) - \theta_c(\tau)), \quad \frac{\partial \theta_n(l_n, \tau)}{\partial x} = -H_n \theta_n(l_n, \tau), \quad (9)$$

та початкові умови:

$$\theta_k(x, 0) = 0, \quad (10)$$

Тут: $\theta_c(\tau) = t_c(\tau) - t_0. \quad (11)$

Розв'язок задачі (7)-(10) з використанням функції Гріна, відповідної одновимірної нестационарної задачі теплопровідності, подамо у вигляді

$$\theta_k(x, \tau) = \alpha_1 \int_0^\tau G_k(x, 0, \tau - \xi) \theta_c(\xi) d\xi. \quad (12)$$

В результаті математичних перетворень вихідна формула набуде вигляду [3]

$$\theta_k(x, \tau) = \frac{H_1}{\beta} \left[\frac{\lambda_1}{\lambda_n} + H_n (f_n(l_n) - f_k(x)) \right] \times$$

$$\times \left[A \ln(B\tau + 1) + t^* - t_0 \right] - 2H_1 a_1 \sum_{m=1}^{\infty} \frac{\Phi_k(x, \mu_m)}{\mu_m^2 N(\mu_m)} \times$$

$$\times \left\{ (t^* - t_0) e^{-\mu_m^2 \tau} + AB\tau \int_0^1 \frac{e^{-\mu_m^2 \tau \nu}}{B\tau(1-\nu) + 1} d\nu \right\}. \quad (13)$$

Підставивши (13) в (6) одержимо розв'язок задачі теплопровідності (2)-(5).

Для експериментальних і теоретичних досліджень взято огорожувальну конструкцію, що складалась з фібролітової нез'ємної опалубки заповненої бетоном марки В 20. Габаритні розміри дослідного зразка – 1000x1000x225 мм. Схема дослідного зразка представлена на рис. 1. Дані для розрахунку температурного поля конструкції, та закон зміни температури під час експериментальної пожежі у печі представлено у табл. 1.

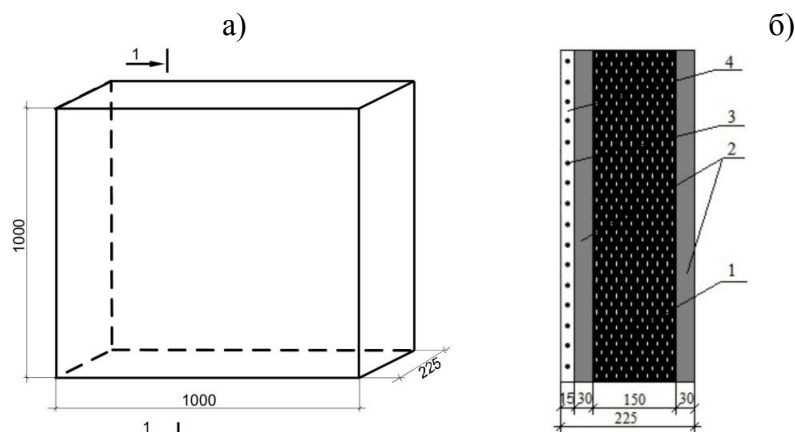


Рис. 1. Схема дослідного зразка:

а) – габаритні розміри;

б) – розріз:

1 – бетон; 2 – фіброліт; 3 – сітка Рабиця; 4 – штукатурка (тиньк)

Таблиця 1

Вихідні дані для розрахунку температурного поля

Параметр	Фіброліт	Цементно-піщана штукатурка	Бетон
Коефіцієнт теплопровідності $[\lambda] = \frac{Вт}{м \cdot К}$	0,06	0,47	1,5
Коефіцієнт температуропровідності $[a_k] = \frac{м^2}{с}$	$0,1 \cdot 10^{-6}$	$0,35 \cdot 10^{-6}$	$0,744 \cdot 10^{-6}$
Питома теплоємність $[c \rho] = \frac{Дж}{кг \cdot К}$	2000	840	840
Густина $[\rho] = \frac{кг}{м^3}$	300	1600	2400
Закон зміни температури в печі	$t_c(\tau) = 158,33 \ln\left(\frac{\tau}{300} + 1\right) + 176,66$		
Коефіцієнт тепловіддачі на поверхні, що обігривається $[\alpha_1] = \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$	60		
Коефіцієнт тепловіддачі на необігрітій поверхні $[\alpha_n] = \frac{Вт}{м^2 \cdot К}$	4		

Результати та порівняння аналітичних розрахунків температурного поля по товщині дослідного зразка на 100-ій хвилині та експериментальні результати вимірювань температури представлені на рис. 2.

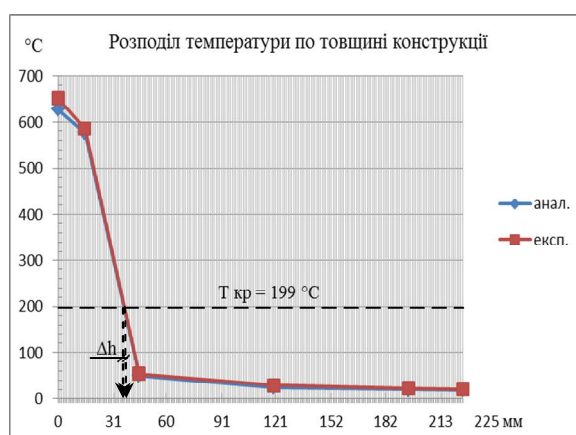


Рис. 2. Порівняння графіків теоретичних та експериментальних досліджень дослідного зразка на 100-ій хв

Порівняння отриманих результатів теоретичних розрахунків (аналітичний метод), за формулою (6) та експериментальних досліджень [4] виконано згідно з [5].

У табл. 2 наведено відсоткову розбіжність розрахункових та експериментальних глибин прогріву дослідного зразка у фіксовані моменти часу.

Таблиця 2

Порівняння значень глибин прогріву отриманих аналітично і виміряних експериментально

Час нагріву конструкції (τ, хв)	Розбіжність розрахункових та експериментальних глибин прогріву (Р, %)
10	22,8
20	8,3
30	7,1
40	6,6
50	5,4
60	5
70	4,5
80	4
90	4,5
100	4,7

Примітка: Р – розбіжність між аналітичним та експериментальним методами дослідження, $P = \frac{|\Delta h|}{h_1} 100\%$, $\Delta h = h_1 - h_2$, а h_1, h_2 – глибини прогріву отримані експериментальним та аналітичним методами відповідно.

Встановлено, що максимальна розбіжність між значеннями температурного поля отриманого аналітичним та експериментальним методом становить 22,8% на 10-ій хв (розвиток пожежі), а на 100-ій хв – 4,7 %.

Висновки:

В роботі обґрунтовано напрямки досліджень будівельних конструкцій, будівель та споруд у сфері пожежної безпеки для оцінки стійкості протипожежного стану об'єктів різного призначення, при цьому отримано такі результати:

1. З використанням функції Гріна, проведено математичне моделювання та одержано розв'язок нестационарного температурного поля дослідного зразка огорожувальної будівельної конструкції з фібролітовими плитами та визначено його межу вогнестійкості за ознакою втрати теплоізолювальної здатності, яка становить не менше 100 хв.

2. Проведено числові розрахунки та здійснено аналіз зміни температури по товщині конструкції, який показав, що за 100 хв нагрівання, критична температура на необігрівній поверхні дослідного зразка огорожувальної конструкції не досягається.

3. На основі результатів теоретичних і експериментальних досліджень встановлено, що аналітичний метод розрахунку дає близькі до експериментальних значення, тому він може бути використаний для розрахунку межі вогнестійкості будівельних конструкцій, які мають різні геометричні та теплофізичні параметри.

Список літератури:

- 1. Величко Л.Д.** Термодинаміка та теплопередача в пожежній справі [Текст]: [навчальний посібник] / Величко Л.Д., Лозинський Р.Я., Семерак М.М.; ЛДУ БЖД. Львів: Вид-во «СПОЛОМ», 2011. – 504 с.
- 2. Лыков А. В.** Теория теплопроводности / Лыков А. В. – М. : Высшая школа, 1967. – 599 с.
- 3. Веселівський Р.Б.** Обґрунтування умов застосування вертикальних багатошарових огорожувальних конструкцій будівель і споруд з урахуванням їх вогнестійкості : дис. ... канд. техн. наук / Р. Б. Веселівський. – Львів, 2012. – 144 с.

4. **Експериментальне дослідження вогнестійкості** огорожувальних конструкцій з фібролітовими плитами / Р.Б. Веселівський, А.П. Половко, О.О. Василенко // Пожежна безпека : зб. наук. праць. – Львів, 2013. – № 23. – С. 33-38.

5. **Половко А. П.** Вогнестійкість енергоефективних стінових огорожувальних конструкцій житлових та громадських будівель : дис. ... канд. техн. наук / А. П. Половко. – Львів, 2009. – 193 с.

6. **ДБН В.1.1-7-2002** «Пожежна безпека об'єктів будівництва». – Київ : Держбуд України, 2003. – 42 с.

7. **ДСТУ Б.В.1.1-4-98*** Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги. – Київ : Держбуд України, 2005. – 22 с.

Р.Б. Веселивский, М.М. Семерак, Р.С. Яковчук

ТЕОРЕТИЧЕСКОЕ ОБОСНОВАНИЕ ОГНЕСТОЙКОСТИ ОГРАЖДАЮЩЕЙ КОНСТРУКЦИИ С ФИБРОЛИТОВЫМИ ПЛИТАМИ

Представлены направления исследований строительных конструкций, зданий и сооружений в сфере пожарной безопасности. С использованием математического моделирования и функции Грина, проведен расчет нестационарного температурного поля для ограждающей конструкции с фибролитовыми плитами. Аналитическим методом определен предел огнестойкости опытного образца по признаку потери теплоизолирующей способности. Проведен сравнительный анализ полученных расчетных и экспериментальных исследований предела огнестойкости ограждающей строительной конструкции с фибролитовыми плитами.

Ключевые слова: огнестойкость, теплоизолирующая способность, нестационарное температурное поле, фибролит.

R.B. Veselivsky, M.M. Semerak, R.S. Yakovchuk

THEORY BEHIND FIRE RESISTANT WALLING WITH FIBROLITE PLATES

The trends in studying constructions, buildings and structures in the context of fire safety, are presented in the research. Using mathematical modeling and the Green's function, the unsteady temperature field for the enclosure of fibrolite plates was calculated. The limit of fire resistance test sample on the basis of loss of heat-insulating ability was defined analytically. A comparative analysis of the calculated and experimental values of the fire resistance of the building structure enclosing fibrolite plates was carried out.

Key words: fire resistance, insulating capacity, non-stationary temperature field, fiberboard.

