

УДК: 614.842

**ДОСЛІДЖЕННЯ НЕСТАЦІОНАРНОГО ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ  
ВСЕРЕДИНИ БЕТОННОЇ СТІНКИ В УМОВАХ РЕАЛЬНОЇ ПОЖЕЖІ.**

Лозинський Р.Я., кандидат технічних наук, доцент.

**Львівський державний університет безпеки життєдіяльності**

Однією з вимог, що висувається до будівельних конструкцій, є їх пожежостійкість та міцність. При проектуванні захисних конструкцій будівель доцільно знати розподіл температур всередині захисних стін у випадку виникнення пожежі. Такий розподіл дозволяє оцінити стійкість самої конструкції та пожежну безпеку сусідніх кімнат, що межують із кімнатою, в якій сталась пожежа. Тому проведення відповідних розрахунків залишається актуальним.

Метод кінцевих різниць (метод сіток) для розв'язання задач нестационарної теплопровідності застосовується давно, однак застосування цього методу при складній теплопередачі недостатньо висвітлено. В даній роботі розглянуто застосування методу кінцевих різниць для розв'язання задачі складної нестационарної теплопередачі.

Розіб'ємо бетонну перегородку на  $n$  шарів малої товщини. В кожному шарі його фізичні параметри та температуру в заданий момент часу вважається незмінними. Також час горіння розіб'ємо на  $m$  рівних частин, в межах якого температура та фізичні властивості перегородки вважаємо незмінними.

Таким чином, температура в стінці задається двома параметрами – положенням шару перегородки (індекс  $i$ ) та моменту часу горіння (індекс  $k$ ).

1. Розглянемо процес передачі тепла для зовнішнього шару стінки, що контактує з середовищем, де відбувається пожежа.

Кількість теплоти, що передана стінці шляхом конвекції, визначається за допомогою закону Ньютона-Ріхмана:

$$Q_k = \alpha_1 (T_T - T_{0,k-1}) \Delta y \Delta z \Delta \tau, \quad (1)$$

Кількість теплоти, що передана тонким шаром (з індексом 0) зовнішньої бетонної стінки наступним за ним бетонним шаром (з індексом 1) шляхом теплопровідності, може бути розрахована за законом Фур'є:

$$Q_T = \lambda (T_{0,k-1}) \frac{T_{0,k-1} - T_{1,k-1}}{\Delta x} \Delta y \Delta z \Delta \tau, \quad (2)$$

Зміна внутрішньої енергії тонкого шару товщиною  $\Delta x$  може бути розрахована за допомогою формули:

$$\Delta U = c (T_{0,k-1}) \rho (T_{0,k} - T_{0,k-1}) \Delta x \Delta y \Delta z. \quad (3)$$

Враховуючи, що  $Q_k - Q_l = \Delta U$  отримаємо:

$$\begin{aligned} \alpha_1 (T_\tau - T_{0,k-1}) \Delta y \Delta z \Delta \tau - \lambda (T_{0,k-1}) \frac{T_{0,k-1} - T_{1,k-1}}{\Delta x} \Delta y \Delta z \Delta \tau = \\ = c (T_{0,k-1}) \rho (T_{0,k} - T_{0,k-1}) \Delta x \Delta y \Delta z, \end{aligned} \quad (4)$$

Скоротимо рівняння (4) на  $\Delta y \Delta z$  та розв'язуючи його відносно  $T_{0,k}$ , отримаємо:

$$T_{0,k} = T_{0,k-1} + \frac{\alpha_1}{c(T_{0,k-1})} \left( \frac{\Delta \tau}{\Delta x} \right) (T_\tau - T_{0,k-1}) - \frac{\lambda(T_{0,k-1})}{c(T_{0,k-1})\rho} \frac{\Delta \tau}{(\Delta x)^2} (T_{0,k-1} - T_{1,k-1}), \quad (5)$$

Використовуючи диференціальне рівняння нестационарної теплопровідності, розглянемо процес передачі тепла всередині стінки між її шарами, і отримаємо:

$$T_{i,k} = T_{i,k-1} + \frac{T_{i,k} - T_{i,k-1}}{\Delta \tau} = \frac{\lambda(T_{i,k})}{c(T_{i,k})\rho} \frac{1}{\Delta x^2} (T_{i+1,k-1} - 2T_{i,k-1} + T_{i-1,k-1}), \quad (6)$$

Застосовуючи формули законів Фур'є та Ньютона-Ріхмана, розглянемо передачу тепла в зовнішньому шарі стінки, що межує із зовнішнім середовищем, і отримаємо:

$$T_{n,k} = T_{n,k-1} + \frac{\lambda(T_{n,k-1})}{c(T_{n,k-1})\rho} \frac{\Delta \tau}{(\Delta x)^2} (T_{n-1,k-1} - T_{n,k-1}) - \frac{\alpha_2}{c(T_{0,k-1})} \frac{\Delta \tau}{\Delta x} (T_{n,k} - T_0). \quad (7)$$

Таким чином, використовуючи метод кінцевих різниць отримано три рівняння (5), (6), (7), за допомогою яких можна розрахувати температуру у стінці в будь-який момент часу.

Розглянемо розв'язок наступної задачі: одна з поверхонь бетонної стінки товщиною  $\delta = 15$  см, в умовах пожежі обігрівается продуктами горіння, температура яких змінюється з часом за формулою  $T_\tau = 280 \log(8\tau/60+1)$ , де  $\tau$  - час в секундах. Температура стінки до пожежі та зовнішнього середовища  $T_0 = 15$  °C. Необхідно розрахувати температурне поле за товщиною стінки протягом однієї години. Встановити, чи досягне температура прогріву арматури допустимого значення  $T_{\text{доп}} = 520$  °C, якщо вона захищена бетоном товщиною 2 см.

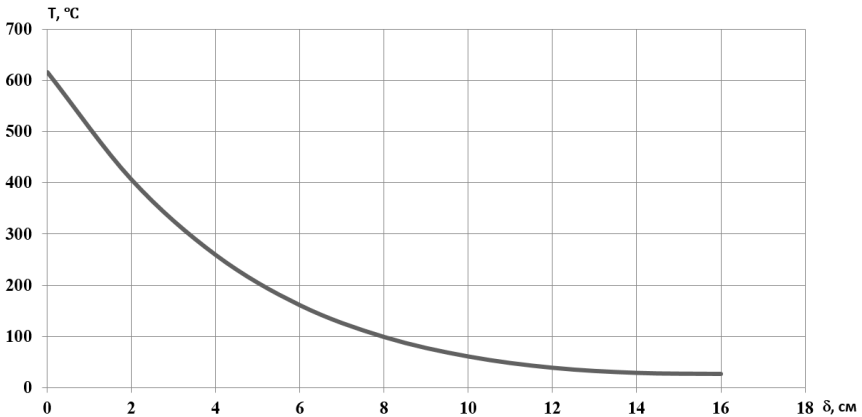
Для проведення відповідного розрахунку використана відповідна програма в середовищі програмування MathCad 14, яка дозволяє швидко і з високою точністю виконати відповідний розрахунок.

Повний результат розрахунку температурного поля в стінці наведений в таблиці 1 та на відповідному графіку (рисунок 1).

Таблиця 1

Залежність температури бетонної стінки(°C) при пожежі від її товщини та часу.

$\tau$ , год $\delta$ , см	0	0,1	0,2	0,3	0,4	0,5	0,6	0,7	0,8	0,9	1,0
0	15	115	262	344	408	459	501	537	567	593	616
2	15	40	96	152	203	248	278	322	353	381	406
4	15	18	36	64	96	127	157	186	212	237	259
6	15	15	19	29	46	64	83	104	123	143	161
8	15	15	15	18	24	34	45	58	71	85	99
10	15	15	15	15	18	22	27	34	42	51	61
12	15	15	15	15	16	17	19	23	27	33	39
14	15	15	15	15	15	16	17	19	21	25	29
15	15	15	15	15	15	15	16	18	20	23	27



**Рисунок 1** – Графік розподілу температурного поля в бетонній стінці через 1 годину після виникнення пожежі.

Виходячи з результатів проведених розрахунків (таблиця 1), а також як видно з приведеного графіка (рисунок 1) в умовах пожежі протягом однієї години температура арматури в бетонній стінці буде менше допустимої, отже можна зробити позитивний висновок щодо її стійкості.

Таким чином, бетонна стінка з вказаними параметрами відповідає вимогам пожежостійкості та міцності.

#### Література:

1. Астапенко В.М., Кошмаров Ю.А., Молчадський І.С. Термогазодинаміка пожаров в помещениях: - М.: Стройиздат, 1988. – 448с.

2. Самарський А.А., Вабишевич П.Н. Вчислительная теплопередача: М. : Едиториал УРСС, 2003. – 784 с.

3. Величко Л.Д., Лозинський Р.Я., Семерак М.М. Термодинаміка та теплопередача в пожежній справі.: Львів: Видавництво «СПОЛОМ», 2011, 504с.

4. Романенко П.Н., Бубырь Н.Ф., Башкирцев М.П. Теплопередача в пожарном деле. – М.: ВШ МВД СССР, 1969. – 425 с.

5. Глущенко Л.Ф., Маторин А.С., Лисицкий Н.Ф. Теплотехника в строительстве и строительном производстве. К.: Высшая школа, 1991. – 295 с.