



Міністерство надзвичайних ситуацій України

Академія пожежної безпеки  
імені Героїв Чорнобиля

*№11'2012*

***ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА:  
ТЕОРІЯ І ПРАКТИКА***

---

*Збірник наукових праць*

**ББК 38.96**

**П 46**

**П 46 Пожежна безпека: теорія і практика : збірник наукових праць. –  
Черкаси : АПБ ім. Героїв Чорнобиля, 2012. – №11. – 134 с.**

***Редакційна колегія:***

к.психол.н., професор *Кришталь М.А.* – головний редактор  
к.пед.н., доцент *Капля А.М.* – заступник головного редактора  
д.ф.-м.н., професор *Акіншин В.Д.* – науковий редактор  
д.т.н., професор *Осипенко В.І.* – заступник наукового редактора  
к.т.н., доцент *Поздєєв С.В.* – заступник наукового редактора  
к.т.н. *Качкар Є.В.* – відповідальний секретар  
д.т.н., професор *Ващенко В.А.*  
д.психол.н., професор *Грибенюк Г.С.*  
д.т.н., професор *Жартовський В.М.*  
д.т.н., професор *Круковський П.Г.*  
д.військ.н., професор *Мосов С.П.*  
д.психол.н., професор *Охременко О.Р.*  
к.психол.н., доцент *Бут В.П.*  
к.т.н., доцент *Григор'ян Б.Б.*  
к.т.н., доцент *Баракін О.Г.*  
к.психол.н., доцент *Вареник В.В.*  
к.психол.н., доцент *Теслюк П.В.*  
к.т.н., доцент *Зайка П.І.*  
к.т.н., доцент *Левченко А.Д.*  
к.т.н., доцент *Стась С.В.*  
к.т.н., доцент *Тищенко О.М.*  
к.т.н., доцент *Цвіркун С.В.*  
к.т.н. *Кириченко О.В.*  
к.ф.-м.н., доцент *Виноградов А.Г.*  
к.т.н., доцент *Маладика І.Г.*

***Рекомендовано до видання***

***Вченою радою Академії пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля  
(Протокол № 4 від 14.03.2012 р.)***

***Свідоцтво про державну реєстрацію друкованого засобу масової інформації  
Серія КВ № 17574-6424 ПР, видане Міністерством юстиції України 21.03.11 р.***

***Включено ВАК до переліку фахових видань в галузі технічних наук, в яких можуть  
публікуватись результати дисертаційних робіт на здобуття наукових ступенів доктора  
і кандидата наук (Постанова ВАК від 27 травня 2009 року № 1-05/2)***

За точність наведених фактів, а також за використання відомостей, що не рекомендовані до відкритої публікації, відповідальність несуть автори опублікованих матеріалів.  
При передрукуванні посилання на збірник «Пожежна безпека: теорія і практика» обов'язкове.

## ЗМІСТ

|                                                                                                                                                                                                                                 |     |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----|
| <i>Ващенко В.А., Заика П.И., Заика Н.П., Омельченко А.Н., Владинова Г.И.</i>                                                                                                                                                    |     |
| Методы расчета температуры и состава продуктов сгорания<br>нитратно-магниевого смесей .....                                                                                                                                     | 4   |
| <i>Горбаченко Ю.М.</i> Теоретико-поняттєвий аналіз поняттєвих засобів<br>управління проектними ризиками .....                                                                                                                   | 10  |
| <i>Гуліда Е.М., Ренкас А.А.</i> Моделювання пожежі в приміщеннях житлових<br>та громадських споруд з урахуванням тепломасообміну<br>з оточуючим середовищем.....                                                                | 16  |
| <i>Иванова М.С., Иванов А.П., Лоза В.А., Услистая В.А.</i> О практическом опыте<br>устранения просадочных свойств грунтов в период застройки<br>и эксплуатации сооружения.....                                                  | 25  |
| <i>Кириченко О. В.</i> Експериментально-статистичні моделі для отримання<br>бази даних по температурі спалахування частинок металевих палих<br>в газоподібних продуктах термічного розкладання нітратовмісних окислювачів ..... | 33  |
| <i>Круковский П.Г., Ковалев А.И., Качкар Е.В.</i> Определение характеристик<br>вспучивающегося огнезащитного покрытия «Феникс СТВ» по данным<br>испытаний на огнестойкость монолитного перекрытия.....                          | 43  |
| <i>Кукуева В.В., Романюк Р.В.</i> Теоретичне дослідження вогнегасної<br>ефективності флуоровмісних похідних пропану .....                                                                                                       | 52  |
| <i>Лега А.Л.</i> Построение физического подобия при испытании конструкций<br>на огнестойкость.....                                                                                                                              | 57  |
| <i>Нуязин В.М., Ковальов А.І., Гвоздь В.М.</i> Врахування тривалого впливу<br>агресивних факторів оточуючого середовища при визначенні<br>вогнестійкості залізобетонної колони .....                                            | 61  |
| <i>Поздеев А.В., Поздеев С.В., Семерак М.М., Некора О.В.</i> Влияние<br>модификаторов бетона на скорость прогрева изгибаемых<br>железобетонных конструкций .....                                                                | 70  |
| <i>Рудницький В.М., Дядюшенко О.О., Міненко О.В.</i> Визначення показників<br>якості первинної обробки та фіксації даних за фактом пожежі .....                                                                                 | 79  |
| <i>Стась С.В., Зайвий В.В., Бурляй І.В., Мирошник О.М.</i> Уточнення<br>робочих характеристик антено-фідерних пристроїв діапазону 145-150МГц<br>систем конвенціонального радіозв'язку оперативно-рятувальної служби .....       | 83  |
| <i>Стриганова М.Ю.</i> Гидромеханические методы повышения эффективности<br>защиты населения, объектов и территорий при гидродинамических авариях .....                                                                          | 89  |
| <i>Теслюк П.В., Омельченко М. І.</i> Міжособистісні конфлікти<br>в пожежно-рятувальних підрозділах, їх причини і шляхи подолання .....                                                                                          | 101 |
| <i>Тищенко О.М., Андрієнко М.В., Трояновська І.О.</i> Методичний апарат<br>оцінки та прогнозування ризиків виникнення надзвичайних ситуацій<br>природного та техногенного характеру .....                                       | 108 |
| Анотації/abstracts .....                                                                                                                                                                                                        | 114 |
| Автори (алфавітний покажчик).....                                                                                                                                                                                               | 122 |
| Вимоги до оформлення статей.....                                                                                                                                                                                                | 123 |

УДК 614.8

Е.М. Гуліда, д.т.н., проф., А.А. Ренкас,  
ЛДУ БЖД

## МОДЕЛЮВАННЯ ПОЖЕЖІ В ПРИМІЩЕННЯХ ЖИТЛОВИХ ТА ГРОМАДСЬКИХ СПОРУД З УРАХУВАННЯМ ТЕПЛОМАСООБМІНУ З ОТОЧУЮЧИМ СЕРЕДОВИЩЕМ

Отримано аналітичний розв'язок диференціального рівняння матеріального балансу пожежі в приміщенні з урахуванням тепломасообміну з навколишнім середовищем через прямокутний отвір. Результати розрахунків порівняно з результатами експерименту. В подальшому даний метод може бути застосований при визначенні часу втрати несучої та теплоізоляційної здатності будівельних конструкцій в приміщенні при пожежі.

**Ключові слова:** пожежа, температурний режим, температура.

**Постановка проблеми.** Для вирішення теплотехнічної частини розрахунку вогнестійкості використовують стандартний температурний режим. При такому підході межа вогнестійкості може бути заниженою, що призводить до використання додаткового вогнезахисту і є неефективним з економічної точки зору, або завищеною, що призводить до передчасного руйнування конструкцій і завдає значних матеріальних збитків. Тому для прогнозування температурного режиму в приміщенні необхідно враховувати ряд факторів.

**Аналіз останніх досягнень і публікацій.** Для визначення температурного в різних країнах розроблено ряд рекомендацій. Зокрема, на території двадцяти восьми європейських держав діє EN 1991-1-2:2002 [1], в якому для визначення параметричного температурного впливу на конструкції вводяться коефіцієнти, які враховують пожежне навантаження та прорізи. У Російській федерації існує ГОСТ Р 12.3.047-98 [2], в додатку К якого є рекомендації щодо розрахунку температурного режиму в приміщенні, де також наведені різноманітні фактори, які впливають на динаміку зміни температури в приміщенні. Результати розрахунку методик [1], [2], співставлення їх з експериментальними даними, отриманими у Всеросійському науково-дослідному інституті пожежної охорони (ВНИИПО) [7], наведені на рис.1. В США вогнестійкість будівельних конструкцій визначають в залежності від пожежного навантаження, площі віконних прорізів, площі поверхонь, які сприймають тепло та інших факторів (наявність пожежної сигналізації, установок пожежогасіння, пожежних команд на території об'єкта). В Японії також враховують пожежне навантаження та тривалість пожежі, яка залежить від площі підлоги, площі прорізів та їх висоти, для визначення межі вогнестійкості [3].

Методи розрахунку тепломасообміну при пожежі в приміщенні та їх використання для визначення межі вогнестійкості наведені в роботі [4], автор якої пропонує вирішення задачі тепломасообміну з використанням диференціальних рівнянь польового методу моделювання пожежі, які мають дуже складний аналітичний розв'язок. Польова (диференціальна) трьохмірна математична модель пожежі реалізується за допомогою спеціалізованих програмних продуктів, які потребують великих фінансових можливостей дослідника, а також трудомісткості при освоєнні та налаштуванні програми для конкретної задачі. Даною проблемою займалися також автори робіт [5, 6], які за допомогою відомих математичних моделей пожежі та рівняння теплопровідності чисельно визначали температурний режим в приміщенні при пожежі та вогнестійкість будівельних конструкцій. Для спрощення реалізації такої задачі доцільно використовувати інтегральний метод моделювання пожежі з розв'язанням диференціальних рівнянь пожежі. Отримання аналітичного розв'язку диференціальних рівнянь пожежі дозволить

отримати необхідні заходи щодо забезпечення вогнестійкості несучих конструкцій при виникненні пожежі в приміщенні.

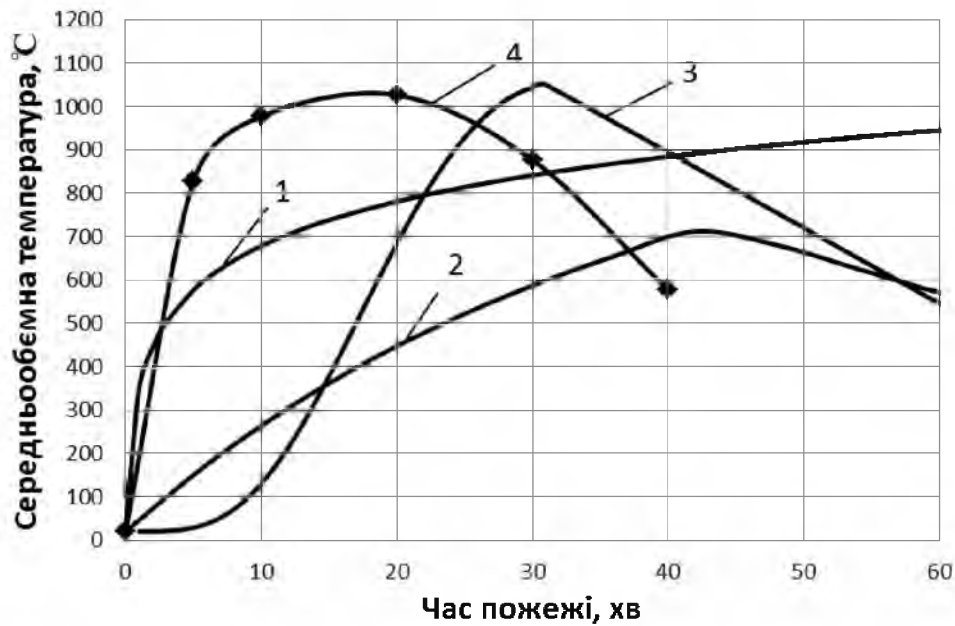


Рисунок 1 - Зміна температури в часі при пожежі в приміщенні, де:

- 1 – стандартна температурна крива;
- 2 – параметрична крива згідно [1];
- 3 – параметрична крива пожежі, розрахована згідно [2];
- 4 – дані експерименту [7].

**Постановка задачі та її розв’язання.** Метою роботи є визначення температури в приміщенні під час пожежі на основі аналітичного розв’язку системи рівнянь інтегральної математичної моделі пожежі.

**Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття.**

До цього часу немає аналітичного розв’язку диференціального рівняння матеріального балансу та енергії пожежі для визначення температури в приміщенні з урахуванням двостороннього тепломасообміну з навколишнім середовищем.

**Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих наукових результатів.**

Запишемо рівняння розвитку пожежі, а саме: рівняння стану середовища при пожежі в приміщенні [7]

$$T_c = \frac{P_c}{\rho_c R}, \quad (1)$$

де  $T_c$  - середньоб’ємна температура, К;  $p_c$  – середнє значення тиску в об’ємі приміщення, Н/м<sup>2</sup>;  $\rho_c$  – середньоб’ємна густина газового середовища, кг/м<sup>3</sup>;  $R=8314$  – газова стала.  
рівняння матеріального балансу [7]

$$\frac{d}{d\tau}(\rho_c V) = G_g + \psi - G_e, \quad (2)$$

де  $V$  – вільний об'єм приміщення,  $\text{м}^3$ ;  $\tau$  – час, с;  $\psi$  – швидкість вигорання (швидкість газифікації) горючого матеріалу в розглянутий момент часу,  $\text{кг/с}$ ;  $G_a$  – витрати повітря, яке подається з навколишнього середовища в приміщення в розглянутий момент часу процесу розвитку пожежі,  $\text{кг/с}$ ;  $G_z$  – витрати газів, які покидають приміщення через пройоми в розглянутий момент часу,  $\text{кг/с}$ .

Рівняння енергії пожежі [7]

$$\frac{d}{d\tau} \left( \frac{p_c V}{k-1} \right) = \psi \eta Q_n^p + c_{pv} T_0 G_a + I_{II} \psi - m c_{pc} T_c G_z - Q_{oz}, \quad (3)$$

де  $k$  – показник адиабати, відношення теплоємності при сталому тиску до теплоємності при сталому об'ємі;  $Q_n^p$  – нижча теплота згорання,  $\text{Дж/кг}$ ;  $c_{pv}$  – теплоємність повітря, що надходить в приміщення,  $\text{Дж/кг} \cdot \text{К}$ ;  $T_0$  – температура навколишнього середовища,  $\text{К}$ ;  $I_{II}$  – ентальпія газифікованої горючої речовини;  $m$  – коефіцієнт, який враховує різницю ентальпії газів які покидають приміщення, і середньооб'ємної ентальпії;  $c_{pc}$  – середня теплоємність газів,  $\text{Дж/кг} \cdot \text{К}$ ;  $Q_{oz}$  – потік тепла в розглянутий момент часу,  $\text{Вт}$ .

Початкові умови: при  $\tau=0$ ,  $\rho_c=\rho_0$ ,  $T_c=T_0$ ,  $p_c=p_0$ .

Частина теплового потоку, яка переходить у стінку, стелю, підлогу

$$Q_{oz} = \varphi Q_{II} = \varphi \eta \psi Q_{\min}, \quad (4)$$

де  $Q_{oz}$  – сумарний тепловий потік, який переходить у стіни, стелю, підлогу,  $\text{Вт}$ ;  $\varphi$  – коефіцієнт теплопоглинання [8];  $Q_{II}$  – швидкість тепловиділення в полум'яній зоні осередку пожежі,  $\text{Вт}$ ;  $Q_{\min}$  – нижча теплота згорання,  $\text{Дж/кг}$ .

Витрати повітря, які подаються з навколишнього середовища в приміщення в розглянутий момент часу процесу розвитку пожежі [8]

$$G_a = \frac{2}{3} b \sqrt{(2g\rho_0(p_0 - p_c))(y_* - y_n)^{\frac{1}{2}}}. \quad (5)$$

Витрати газів, які покидають приміщення через пройоми в розглянутий момент часу [8]

$$G_z = \frac{2}{3} b \sqrt{(2g\rho_c(p_0 - p_c))(y_e - y_*)^{\frac{3}{2}}}, \quad (6)$$

де  $b$  – ширина вікна,  $\text{м}$ ;  $y_n$  – відстань від підлоги до нижнього краю вікна,  $\text{м}$ ;  $y_e$  – відстань від підлоги до верхнього краю вікна,  $\text{м}$ ;  $y_*$  – відстань від підлоги до позначки в приміщенні, на якій тиск дорівнює зовнішньому (атмосферному) тиску [8]

$$y_* = h - \frac{p_c - p_0}{g(\rho_0 - \rho_c)}, \quad (7)$$

де  $p_0$  – атмосферний тиск,  $\text{Н/м}^2$ ;  $\rho_0$  – густина газового середовища ззовні,  $\text{кг/м}^3$ ,  $h$  – середина висоти приміщення,  $\text{м}$ .

Для отримання розв'язку припустимо, що приміщення, в якому виникла пожежа, не є абсолютно герметичним і середній тиск  $p_c$  всередині його на розвинутій стадії пожежі

залишається практично сталим і дорівнює тиску зовнішнього повітря. Тому з достатньою точністю можна прийняти

$$\frac{dp_c}{d\tau} \approx 0; \quad \rho_c T_c = \rho_0 T_0 \quad (8)$$

Тоді рівняння енергії пожежі запишеться

$$c_{p0} T_0 G_6 - c_p T_c G_2 + \psi Q_{\min} \eta - \phi \psi Q_{\min} \eta = 0. \quad (9)$$

Провівши заміну  $D = \frac{Q_{\min} \cdot \eta \cdot (1 - \phi)}{c_p \cdot T_0}$ ,  $A = b \cdot (y_* - y_n)^{\frac{1}{2}}$ ,  $B = b \cdot (y_6 - y_*)^{\frac{3}{2}}$  запишемо

співвідношення витрат газу, що покидають приміщення, до витрат повітря, яке поступає в приміщення

$$\frac{G_6}{G_2} = \frac{A}{B} \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho_c}}, \quad (10)$$

звідки

$$G_2 = \frac{B}{A} \sqrt{\frac{\rho_c}{\rho_0}} \cdot G_6. \quad (11)$$

Підставивши  $G_2$  в залежності (2) та (9) систему рівнянь розвинутої стадії пожежі з урахуванням припущення, що ізобарна теплоємність  $c_p$  буде дорівнювати ізобарній теплоємності  $c_{p0}$  перед початком пожежі ( $c_p = c_{pc} = c_{p0} = \text{const}$ ), відділивши змінні, можна представити у вигляді

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{V d\rho_c}{d\tau} = \left( \frac{D \cdot A}{B \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho_c}} - A} - \frac{D \cdot B \cdot \sqrt{\frac{\rho_c}{\rho_0}}}{B \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho_c}} - A} + 1 \right) \cdot \psi; \\ G_6 \cdot \left( \frac{B}{A} \cdot \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho_c}} - 1 \right) = \psi D; \\ \rho_c T_c = \rho_0 T_0. \end{array} \right. \quad (12)$$

Початкові умови

$$\left\{ \begin{array}{l} \rho_c(\tau = 0) = \rho_0; \\ p_c(\tau = 0) = p_0; \\ T_c(\tau = 0) = T_0. \end{array} \right.$$

Після інтегрування та підстановки замість  $\psi$  добутку  $\psi_n \cdot S_{II}$ , тобто добутку питомої швидкості вигорання  $\psi_n$  (кг · м<sup>-2</sup> · с<sup>-1</sup>) на площу пожежі  $S_{II}$  (м<sup>2</sup>), отримуємо

$$\frac{2\rho_0VA}{\psi_{\text{min}}S_{\Pi}DB} \left[ \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho_c}} - \frac{DB^2 - A^2 + DA^2}{ABD} \cdot \left( \frac{1}{2} \ln \left( \sqrt{\frac{\rho_0}{\rho_c}} + \frac{A-DA}{2BD} \right)^2 - \frac{(A-AD)^2 + 4B^2D}{4B^2D^2} \right) - \left( \frac{A-DA}{2BD} + \frac{AB}{DB^2 + A^2 - DA^2} \right) \times \right. \\ \left. \times \frac{BD}{\sqrt{(A-DA)^2 + 4B^2D^2}} \cdot \ln \left[ \frac{\sqrt{\frac{\rho_0}{\rho_c}} + \frac{A-DA}{2BD} - \frac{\sqrt{(A-DA)^2 + 4B^2D^2}}{BD}}{\sqrt{\frac{\rho_0}{\rho_c}} + \frac{A-DA}{2BD} + \frac{\sqrt{(A-DA)^2 + 4B^2D^2}}{BD}} \right] \right] = \quad (13)$$

$$= \tau + \frac{2\rho_0VA}{\psi_{\text{min}}S_{\Pi}DB} \left[ 1 - \frac{DB^2 - A^2 + DA^2}{ABD} \cdot \left( \frac{1}{2} \ln \left( 1 + \frac{A-DA}{2BD} \right)^2 - \frac{(A-AD)^2 + 4B^2D}{4B^2D^2} \right) - \left( \frac{A-DA}{2BD} + \frac{AB}{DB^2 + A^2 - DA^2} \right) \times \right. \\ \left. \times \frac{BD}{\sqrt{(A-DA)^2 + 4B^2D^2}} \cdot \ln \left[ \frac{1 + \frac{A-DA}{2BD} - \frac{\sqrt{(A-DA)^2 + 4B^2D^2}}{BD}}{1 + \frac{A-DA}{2BD} + \frac{\sqrt{(A-DA)^2 + 4B^2D^2}}{BD}} \right] \right] \\ T_c = \frac{\rho_0 T_0}{\rho_c}, \quad (14)$$

де

$$\eta = \frac{X_{O_2a} \cdot G_3}{L_{O_2} \cdot \psi}; \quad (15)$$

де  $X_{O_2}=0,23$  – концентрація кисню в повітрі, що надходить з оточуючого середовища;  $L_{O_2}$  – витрати кисню на горіння матеріалу, кг/кг [8].

Для спрощення розрахунків за допомогою залежності (12) припустимо, що  $\rho_0$  буде змінюватись в межах від 0,5 до 1,2 кг/м<sup>3</sup>. Тоді

$$\rho_c = \frac{0,0842 \cdot \frac{Q_{\text{min}} \cdot \eta \cdot (1-\varphi)}{c_p \cdot T_0} \cdot \left[ (y_* - y_n)^{\frac{1}{2}} - 0,794 \cdot (y_* - y_n)^{\frac{3}{2}} \right] + 0,106 \cdot (y_* - y_n)^{\frac{3}{2}} - 0,0842 (y_* - y_n)^{\frac{1}{2}}}{1,26 \cdot (y_* - y_n)^{\frac{3}{2}} - (y_* - y_n)^{\frac{1}{2}}} \cdot \frac{\psi}{V} \tau + \rho_0; \quad (16)$$

$$T_c = \frac{\rho_0 T_0}{\rho_c}. \quad (17)$$

Для визначення максимальної температури в приміщенні скористаємося емпіричною залежністю [2]

$$T'_{\text{max}} = 940 \cdot e^{4,7 \cdot 10^{-3} (q-30)}, \quad (18)$$

де  $q$  - пожежне навантаження в приміщенні, кг/м<sup>2</sup>.

Для порівняння результатів розрахунку температури  $T_c$  за залежностями (16), (17) були виконані експериментальні дослідження температури при пожежі в закритому приміщенні. Дослідження виконувались в приміщенні науково-дослідної лабораторії Львівського державного університету безпеки життєдіяльності. В приміщенні було розміщено 28 термопар на різних висотах. Схема розміщення термопар і розміри



приміщення зображені на рис. 2. Джерело пожежі знаходилось в правому крайньому куті приміщення, в центрі якого розміщена термопара №1. Проріз знаходився в лівому верхньому куті приміщення розміром 1000 × 1000 мм. Експериментальні дослідження проводилось з використанням повно факторного експерименту з урахуванням пожежного навантаження, температури на відстані  $R_i$  від осередку пожежі площі пожежі, температури по висоті приміщення  $Z_i$  та часу пожежі. Приміщення, в якому виконувались дослідження, було підготовлено згідно рекомендацій ВНИИПО [7]. Термопари марки ТХА під'єднувались до чотирьох восьмиканалних регулятор-вимірювачів температур РТ-0102, які реєстрували значення температур на комп'ютері з інтервалом одна хвилина. На підставі цих досліджень отримана залежність [10]

$$T_i = T_{o.n.} \cdot \frac{C_T \cdot G^{0,75} \cdot \tau_{в.г.}^{0,18} \cdot Z^{1,5} \cdot S_n^{0,13}}{R^{0,71}} \quad (19)$$

де  $T_{o.n.}$  – температура осередку пожежі,  $^{\circ}\text{C}$ ;  $G$  – пожежне навантаження в приміщенні,  $\text{кг}/\text{м}^2$ ;  $\tau_{в.г.}$  – час вільного горіння, хв;  $Z$  – висота, на якій визначається температура, м;  $S_n$  – площа пожежі,  $\text{м}^2$ ;  $R$  – відстань, на якій визначається температура, м;  $C_T$  – коефіцієнт пропорційності та обезрозмірювання складових елементів дробу;

$$C_T = 0,014 \frac{M^{0,45}}{xv^{0,18} \cdot \kappa z^{0,75}}$$

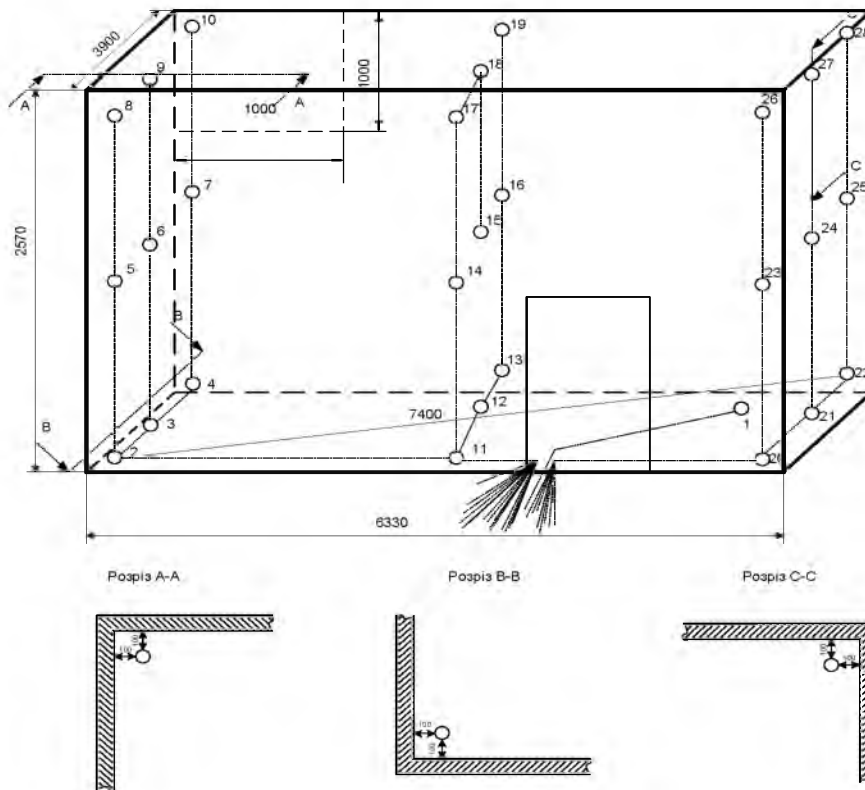


Рисунок 2 - Схема розміщення термопар і розміри приміщення, в якому досліджувалася температура в процесі пожежі.

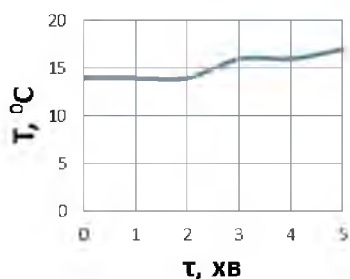
На підставі залежності (19) та залежностей (16) та (17) були визначені температури в точках 12 (на висоті 0,1 м), 15 (на висоті 1,25 м) та 18 (на висоті 2,4 м). Порівняння проводилось при таких значеннях факторів: пожежному навантаженні  $50 \text{ кг}/\text{м}^2$  (для

приміщення житлової споруди [9]), площа пожежі 1 м<sup>2</sup>, час – до 5 хв. Результати експериментальних досліджень наведені на рис. 3 (для точки 12 – рис. 3а, для точки 15 – рис. 3б, для точки 18 – рис. 3в), а результати розрахунків для цих же точок за залежностями (16) і (17) наведені на рис. 4. Результати цих даних наведені в таблиці 1 з визначенням відносної похибки.

Таблиця 1 - Зміна температури під час пожежі в приміщенні з часом

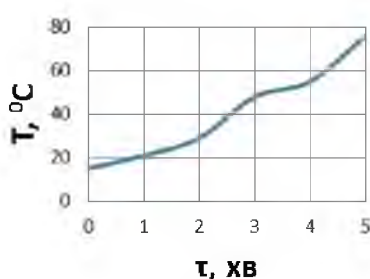
| Час, хв | Температура при $h_{роб}=2.4$ м, С             |                                          |      | Температура при $h_{роб}=1.25$ м, С      |                                          |      | Температура при $h_{роб}=0.1$ м, С             |                                          |      |
|---------|------------------------------------------------|------------------------------------------|------|------------------------------------------|------------------------------------------|------|------------------------------------------------|------------------------------------------|------|
|         | Розрахована за залежностями (16), (17) та (19) | Експериментальне значення термопарі № 18 | δ, % | Розрахована за залежностями (16) та (17) | Експериментальне значення термопарі № 15 | δ, % | Розрахована за залежностями (16), (17) та (19) | Експериментальне значення термопарі № 12 | δ, % |
| 0       | 15                                             | 16                                       | -    | 16                                       | 15                                       | -    | 14                                             | 14                                       | -    |
| 1       | 166                                            | 178                                      | 6,7  | 24                                       | 21                                       | 14,2 | 14                                             | 14                                       | 0    |
| 2       | 188                                            | 218                                      | 13,7 | 34                                       | 29                                       | 17,2 | 14                                             | 14                                       | 0    |
| 3       | 203                                            | 234                                      | 12,8 | 46                                       | 48                                       | 4,1  | 14                                             | 16                                       | 12,5 |
| 4       | 213                                            | 228                                      | 6,5  | 58                                       | 55                                       | 5,4  | 14                                             | 16                                       | 12,5 |
| 5       | 222                                            | 232                                      | 4,3  | 72                                       | 76                                       | 5,2  | 14                                             | 17                                       | 17,6 |

Термопара 12



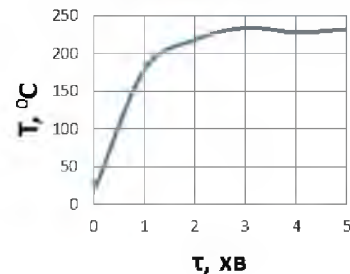
а

Термопара 15



б

Термопара 18



в

Рисунок 3 - Значення показів термопарі при пожежі в досліджуваному приміщенні:

- а - №12;
- б - №15;
- в - №18.

На підставі аналізу результатів досліджень можна зробити висновок, що отримана теоретична модель для визначення температури при пожежі в закритому приміщенні є адекватною результатам експерименту (максимальна похибка складає 17,6%) і може бути застосована для вирішення задач пожежної безпеки, а саме розрахунку межі вогнестійкості будівельних конструкцій.

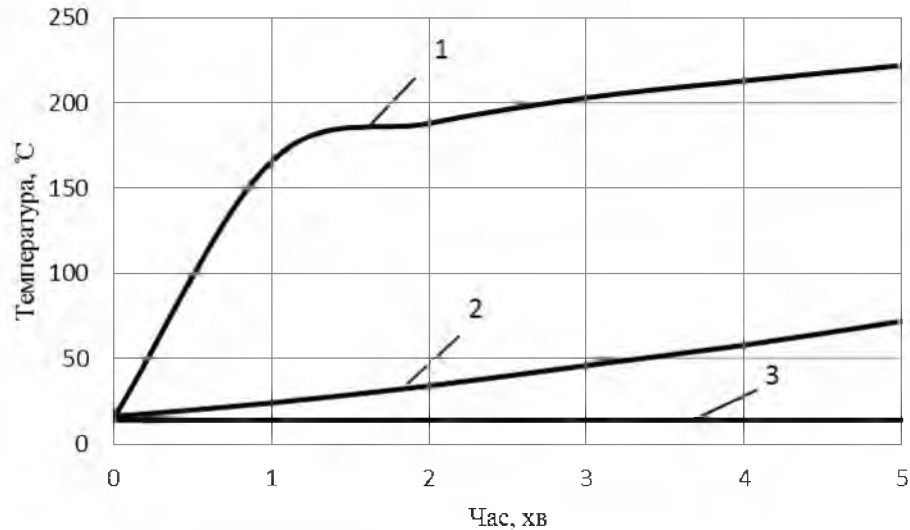


Рисунок 4 - Зміна температури в приміщенні при пожежі, яка розрахована за залежностями (16), (17) та (18) при  $R=3,7$  м:

- 1 – на висоті 2,4 м;
- 2 - на висоті 1,25 м;
- 3 - на висоті 0,1 м.

**Висновки.**

1. Аналіз сучасних методик для визначення температурного впливу на конструкції при пожежі показав, що вони не відповідають реальній зміні температури з часом, що призводить до завищення межі вогнестійкості несучих конструкцій.

2. Отримано аналітичний розв’язок для визначення температури в приміщенні на стадії розвинутої пожежі при двосторонньому тепломасообміну з навколишнім середовищем. При цьому максимальна похибка в порівнянні з експериментальними даними склала 17,6 %, що дозволяє рекомендувати залежності (16) і (17) для використання в практичній діяльності.

**Перспективи подальших досліджень.**

Отримані результати можна використати при розробці уточненого методу для визначення межі вогнестійкості конструкцій з урахуванням реального температурного режиму пожежі.

**СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ**

1. EN 1991-1-2:2002 Eurocode 1: Actions on structures – Part 1-2: General actions – Actions on structures exposed to fire. Brussels: European committee for standardization, 2002. - P. 59.
2. ГОСТ Р 12.3.047-98 Система стандартов безопасности труда. Пожарная безопасность технологических процессов. Общие требования. Методы контроля. - М.: ВНИИПО, 1998. – 94 с.
3. Измаилов А.Х.С. Зарубежный опыт нормирования требуемых пределов огнестойкости строительных конструкций с учетом пожарной нагрузки / Измаилов А.Х.С., Кривошеев И.Н. // Проблемы обеспечения пожарной безопасности зданий и сооружений [материалы семинара]. – Москва: Общество «Знание» РСФСР, 1989. – с. 4-8.
4. Пузач С.В. Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности. – М.: Академия ГПС МЧС России, 2005. – 336 с.

5. Копиленко М.Э. Моделирование огнестойкости элементов строительных конструкций в условиях реального пожара / Копиленко М.Э., Круковский П.Г., Картавова Е.С. // Промышленная теплотехника: [международный научно-прикладной журнал]. – Том 21, № 4-5 – К.: 1999. – С. 16-21.

6. Круковский П.Г. Современное состояние проблемы моделирования пожаров в помещениях. [Электронный ресурс]/ Круковский П.Г., Полубинский А.С., Копиленко М.Э., Новак С.В. // Инженерно-физический журнал. – Минск: 2001. – С. 61-70. – Режим доступа до журналу: <http://www.itmo.by/jepeter/MIF4/volume3/61.PDF>

7. Термогазодинамика пожаров в помещениях / В. М. Астапенко, Ю. А. Кошмаров, И. С. Молчадский, А. Н. Шевляков; Под ред. Ю.А. Кошмарова. – М.: Стройиздат, 1988. – 448 с.

8. Кошмаров Ю.А. Прогнозирование опасных факторов пожара в помещении. – М.: Академия ГПС МВД России, 2000. – 118 с.

9. Ми Зуи Тхань. Горючая загрузка в современных жилых помещениях // Пожаровзрывобезопасность. 2005. – Т. 14, №4. – С. 30-37.

10. Гуліда Е.М. Моделювання пожежі в закритому приміщенні / Гуліда Е.М., Меньшикова О.В., Ренкас А.А. // Науковий вісник національного лісотехнічного університету України: збірник науково-технічних праць. – Львів: РВВ НЛТУ України. – 2012. – Вип.22.6. – С. 307-317.