

ISSN 2078-6662

Державна служба України з надзвичайних ситуацій

Львівський державний університет
безпеки життєдіяльності

ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА

*збірник
наукових праць*



№22 2013

ISSN 2078-6662

ЗАСНОВНИК ТА ВИКОНАВЕЦЬ Львівський державний університет безпеки життєдіяльності
(ЛДУ БЖД)

ЗАРЕЄСТРОВАНО Міністерством юстиції України 26. 06. 2008 р. Серія КВ №14342-3313ПР

ВКЛЮЧЕНО 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*)

РЕКОМЕНДОВАНО ДО ВИДАННЯ рішенням Вченої ради ЛДУ БЖД
(*Протокол № 7 від 08. 05. 2013 р.*)

Літературний редактор	Падик Г.М.
Редактор англійської мови	Маслюк Д.М.
Технічний редактор	Сорочич М.П.
Комп'ютерна верстка та відповідальний за друк	Хлевой О.В.
Друк на різнографі	Климус М.В.

АДРЕСА РЕДАКЦІЇ: ЛДУ БЖД, вул. Клепарівська, 35, м. Львів, 79007
Контактні телефони: (032) 233-24-79, 233-14-97, тел/факс 233-00-88
E-mail: mail@ubgd.lviv.ua, ndr@ubgd.lviv.ua

Здано в набір 27. 05. 2013. Підписано до друку 06. 06. 2013.
Формат 60x84^{1/2}. Папір офсетний. Ум. друк. арк. 19.
Гарнітура Times New Roman. Друк на різнографі.
Наклад: 100.
Друк: ЛДУ БЖД
вул. Клепарівська, 35, м. Львів, 79007.

- В.І. Гудим, О.Б. Назаровець, О.А. Кузін**
ОСОБЛИВОСТІ МІКРОСТРУКТУРИ
МІДНИХ ДРОТІВ, НАГРІТИХ
ЕЛЕКТРИЧНИМ СТРУМОМ І
ВІДКРИТИМ ПОЛУМ'ЯМ **55** *V.I. Hudym, O.B. Nazarovets, O.A. Kuzin*
PECULARITIES OF MICROSTRUCTURE
OF COPPER WIRE HEATED BY
ELECTRIC CURRENT AND OPEN
FLAME
- Е.М. Гуліда, А.А. Ренкас**
ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ
НАГРІВАННЯ ПОВЕРХНІ
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ
ПРИ ПОЖЕЖІ В ПРИМІЩЕННІ **61** *E.M. Gulida, A.A. Rencas*
DETERMINATION OF TEMPERATURE OF
HEATING OF SURFACE OF REINFORCE-
CONCRETE CONSTRUCTIONS AT FIRE IN
APARTMENT
- Ю. В. Гуцуляк, В.В. Артеменко,
С. Я. Вовк, О.М. Коваль**
ДО ВИЗНАЧЕННЯ МЕЖИ
ВОГНЕСТІЙКОСТІ МЕТАЛЕВИХ
НЕЗАХИЩЕНИХ КОЛОН З
УРАХУВАННЯМ ЗМІНИ
МЕХАНІЧНИХ ХАРАКТЕРИСТИК
МЕТАЛУ ПРИ НАГРІВАННІ **70** *Yu.V. Hutsulyak, V.V. Artemenko,
S.Y.Vovk, O.M. Koval*
DETERMINING UNPROTECTED METAL
COLUMN FIRE RESISTANCE LIMIT
WITH CONSIDERING CHANGES OF
MECHANICAL METAL PROPERTIES
UNDER HEATING
- С.О. Ємельяненко, А.Д. Кузик,
О.О. Карабин, Т. Є. Рак**
УДОСКОНАЛЕННЯ
ПРОТИПОЖЕЖНОГО ЗАХИСТУ
ЖИТЛОВИХ БУДИНКІВ **75** *S.O. Emelianenko, A.D. Kuzyk,
O.O. Karabyn, T.Ye. Rak*
IMPROVEMENT OF FIRE PROTECTION
DWELLING HOUSE
- С.В. Жартовський**
СУЧАСНІ ЗАСОБИ АКТИВНОГО І
ПАСИВНОГО ЗАХИСТУ ОБ'ЄКТІВ
КУЛЬТОВОГО ПРИЗНАЧЕННЯ **81** *S.V. Zhartovskyi*
MODERN EQUIPMENTS OF ACTIVE
AND PASSIVE FIRE-PREVENTION
DEFENCE FOR RELIGIOUS OBJECTS
- В.І. Желяк, А.Я. Регуш, О.В. Лазаренко**
ВРАХУВАННЯ АНОМАЛІЇ В'ЯЗКОСТІ
РІДИН ПРИ РОЗРАХУНКУ СИСТЕМ
АВАРІЙНОГО ЗЛИВУ **87** *V.I. Zhelyak, A.Ya. Regush, A.V. Lazarenko*
TAKING INTO ACCOUNT ANOMALIES
OF LIQUID VISCOSITY DURING
CALCULATION OF EMERGENCY
DUMPING SYSTEMS
- Л.А. Кавецький, О.В. Меньшикова,
Л.Ф. Дзюба**
ДОСЛІДЖЕННЯ РУХУ РЯТУВАЛЬНОГО
ПРИСТРОЮ З ПОТЕРПІЛИМ ПО
ПОХИЛІЙ ПЕРЕПРАВІ **94** *L.A. Kavetskyy, O.V. Menshykova,
L.F. Dzyuba*
RESEARCH OF RESCUE DEVICE
MOTION WITH A CASUALTY
ON THE INCLINED CROSSING
- В.Д. Калугін, В.В. Коврегін, В.В. Тютюнник,
Л.Ф. Чорногор, Р.І. Шевченко**
ОЦІНКА РІВНЯ ПОЖЕЖНОЇ НЕБЕЗПЕКИ
ТЕРИТОРІЇ УКРАЇНИ НА ОСНОВІ
АНАЛІЗУ ЕНЕРГЕТИЧНИХ ПОКАЗНИКІВ
СТАНУ ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ **99** *V.D. Kalugin, V.V. Kovregin, V.V. Tyutyunik,
L.F. Chornogor, R.I. Shevchenko*
ASSESSMENT OF FIRE DANGER LEVEL
OF UKRAINE ON THE BASIS OF
ANALYSIS OF POWER INDICATORS OF
CONDITION ACTIVITY
- В.В. Ковалышин, А.В. Антонов,
І.М. Зінченко, С.І. Гончаренко**
МОДЕЛЮВАННЯ ГАСІННЯ ПОЖЕЖ В
ЗАКРИТИХ ОБ'ЄМАХ
ІНГІБІТОРАМИ ГОРІННЯ **113** *V.V. Kovalyshyn, A.V. Antonov,
I.M. Zinchenko, S.I. Honcharenko*
SIMULATION OF FIRE EXTINGUISHING
IN CLOSED CAPACITIES BY
COMBUSTION INHIBITORS

*Е.М. Гуліда, д-р техн. наук, професор, А.А. Ренкас
(Львівський державний університет безпеки життєдіяльності)*

ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРИ НАГРІВАННЯ ПОВЕРХНІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ ПРИ ПОЖЕЖІ В ПРИМІЩЕННІ

Проаналізовано результати розрахунку температури поверхні залізобетонних конструкцій, яка нагрівається, при пожежі в приміщенні, з використанням методів розрахунку теплообміну. Зокрема, при розв'язанні задачі теплопровідності з використанням граничних умов першого роду, для розрахунку температури поверхні враховувалася кількість тепла, що виділяється при пожежі, та зміна коефіцієнта теплообміну. Також при вирішенні цієї проблеми розглянуто критерій подібності Грасгофа, який дає змогу описати процес передачі тепла на поверхню, з якою здійснюється теплообмін. Дані розрахунків порівняні з експериментальними даними та встановлено похибку.

Ключові слова: пожежа, площа пожежі, температура, температурні поля, граничні умови, вогнестійкість.

Вступ. При пожежі в приміщенні виділяється значна кількість тепла, частина якого переходить в огороджувальні конструкції, які від цього при нагріванні втрачають свою несучу здатність. Передача тепла від осередку пожежі до поверхні конструкцій залежить від різних чинників, які необхідно враховувати. Знаючи температурні поля в конструкціях при перебігу пожежі, можна визначити їх межу вогнестійкості. Для розв'язання задачі теплопровідності необхідно визначити температуру поверхні огороджувальних конструкцій, але визначення величини цієї температури здебільшого виконують з використанням граничних умов III роду. В деяких випадках розв'язати таке рівняння є досить важко або неможливо. Тому необхідно визначити параметри теплообміну між середовищем та поверхнею залізобетонної конструкції.

При розв'язанні теплотехнічної частини розрахунку на вогнестійкість залізобетонного перекриття розглядають його як напівобмежене тіло. При цьому розв'язують диференціальне рівняння теплопровідності для одновимірної задачі, задаючи граничні умови третього роду. Коефіцієнт теплообміну між середовищем та конструкцією задається сталим і для залізобетонних конструкцій його значення приймають $29 \text{ Вт/м}^2 \cdot ^\circ\text{C}$ [1]. Наприклад, в роботі [2] наведено спосіб розрахунку коефіцієнта теплообміну залежно від коефіцієнта теплопровідності димових газів під час пожежі, швидкості руху цих газів, кінематичної в'язкості та інших чинників.

Постановка завдання. Метою цієї роботи є розроблення методики визначення температури нагрівання обігрівної поверхні несучих будівельних залізобетонних конструкцій при пожежі в закритому просторі.

Для визначення температури нагрівання поверхні залізобетонних конструкцій розглянемо такі три методи:

1. Визначання температури нагрівання поверхні залізобетонних конструкцій залежно від кількості тепла, що виділяється при пожежі, з урахуванням зміни коефіцієнта теплообміну на цій поверхні від температури середовища.

2. Визначання температури нагрівання поверхні залізобетонних конструкцій з урахуванням критерію подібності Грасгофа залежно від температури середовища при пожежі.

3. Визначання температури нагрівання поверхні залізобетонних конструкцій при розв'язанні рівняння теплопровідності з граничними умовами третього роду.

Розглянемо методи визначення температури нагрівання поверхні залізобетонних конструкцій з використанням наведених методів і на підставі їх аналізу приймемо той, який дає найменшу похибку відповідно до результатів експериментальних досліджень.

1. Визначення температури нагрівання поверхні залізобетонних конструкцій залежно від кількості тепла, що виділяється при пожежі

Кількість тепла, що виділяється при пожежі за одиницю часу, визначаємо за такою залежністю [3]

$$Q_{\text{пож}} = \eta \psi_n Q_n^p S_{\text{пож}}, \quad (1)$$

де: Q_n^p – питома теплота згорання, Дж/кг [3], приймаємо 13500 кДж/кг, оскільки вона змінюється в межах від 13000 до 14000 кДж/кг; ψ_n – питома швидкість вигорання, кг/(м²·с); $S_{\text{пож}}$ – площа пожежі, м²; η – коефіцієнт повноти згорання [3].

Кількість тепла, що поглинається поверхнею огорожувальної конструкції

$$Q_w = Q_{\text{пож}} \cdot \varphi, \quad (2)$$

де: φ – коефіцієнт теплопоглинання. Згідно з рекомендацією [3], його значення приймають 0,5.

$$Q_w = \alpha \cdot F \cdot (t_c - t_w), \quad (3)$$

де: F – площа поверхні, з якою здійснюється теплообмін, м²; t_c – температура середовища, °С; t_w – температура поверхні конструкції (гранична температура), °С.

Температура середовища може бути задана, наприклад, стандартним температурним режимом. При цьому τ в стандартному температурному режимі подано в хвилинах. Для переходу з хвилин в секунди необхідно поділити τ на 60. Тоді в кінцевому вигляді отримаємо

$$t_c = 345 \cdot \lg\left(\frac{8}{60} \cdot \tau + 1\right) + t_0 = 345 \cdot \lg(0,133 \cdot \tau + 1) + t_0, \quad (4)$$

де: τ – тривалість пожежі, с; t_0 – початкова температура середовища, °С.

Коефіцієнт теплообміну α на поверхні, що нагрівається, Вт/(м²·°С), [2] визначається з такої залежності

$$Nu_l = \frac{\alpha \cdot l}{\lambda}, \quad (5)$$

де: λ – коефіцієнт теплопровідності димових газів, Вт/(м·°С); l – лінійний розмір поверхні, що нагрівається, м.

Число Нусельта визначається з такої залежності

$$Nu_l = 0,66 \cdot \sqrt{Re_l} \cdot \sqrt[3]{Pr} \quad (6)$$

– для ламінарного режиму руху димових газів і

$$Nu_l = 0,037 \cdot Re_l^{0,8} \cdot Pr^{0,43} \cdot \left(\frac{Pr_p}{Pr_m}\right)^{0,25} \quad (7)$$

– для турбулентного режиму.

Число Прандтля для димових газів неістотно залежить від температури, тому приймають $\frac{Pr_p}{Pr_m} = 1$. Число Рейнольдса обчислюється за такою залежністю

$$Re_l = \frac{w \cdot l}{\nu}, \quad (8)$$

де: w – швидкість димових потоків, приймаємо 0,4, згідно з даними роботи [8], м/с; ν – коефіцієнт кінематичної в'язкості, м²/с.

Після проведення розрахунків за залежностями (5-8) отримаємо значення коефіцієнта теплообміну для досліджуваної залізобетонної конструкції, динаміка якого наведена на рис. 1.

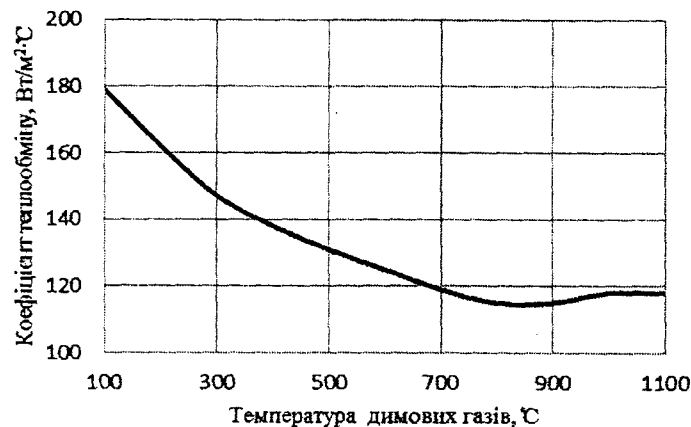


Рис. 1. Залежність значення коефіцієнта теплообміну від температури димових газів

З урахуванням визначених даних, отримаємо

$$\eta\psi Q_n^p S_{\text{пож}} \varphi = \alpha \cdot F \cdot (t_c - t_w), \quad (9)$$

звідки

$$t_w = t_c - \frac{\eta\psi Q_n^p S_{\text{пож}} \varphi}{\alpha \cdot F}. \quad (10)$$

Якщо тривалість пожежі $\tau \leq 10$ хв, її площу визначають за такою залежністю [3]

$$S_{\text{пож}} = 0,125 \cdot \gamma \cdot V_n^2 \cdot \tau^2, \quad (11)$$

де: γ – кут пожежі, рад, $\gamma=6,28$ (кутова пожежа 360°); $\gamma=3,14$ (кутова пожежа 180°); $\gamma=1,57$ (кутова пожежа 90°); R – радіус пожежі, м; V_n – лінійна швидкість розповсюдження полум'я, м/с; τ – тривалість пожежі, с.

Якщо тривалість пожежі $\tau > 10$ хв, її площу визначають за залежністю

$$S_{\text{пож}} = 0,5 \cdot \gamma \cdot V_n^2 \cdot (\tau - 5)^2. \quad (12)$$

Розглянемо методику визначення температури поверхні t_w на прикладі.

Приклад 1. Розглянемо приміщення розміром 6×4 м та висотою $2,5$ м [6]. Отже площа поверхні, з якою здійснюється теплообмін дорівнює площі стелі $S_{\text{стелі}} = 24 \text{ м}^2$.

Нехай пожежне навантаження 50 кг/м^2 становлять меблі та побутові вироби [6], теплота згорання яких 13800 кДж/кг [3]. Лінійна швидкість поширення полум'я $0,0108 \text{ м/с}$ [3]. Перекриття залізобетонне. Для того, щоб порівняти дані розрахунку з експериментальними, використаємо залежність для визначення зміни температури середовища t_c при пожежі під час експерименту [6], яка була отримана на підставі оброблення результатів експерименту методами математичної статистики.

$$t_c = 463,1 \cdot \left(\frac{\tau}{60}\right)^{0,27}. \quad (13)$$

На 35 с експерименту температура середовища становила 400°C .

$$t_c = 463,1 \cdot \left(\frac{35}{60}\right)^{0,27} = 400^\circ\text{C}.$$

Коефіцієнт теплообміну при температурі 400°C становить $138 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$ (рис. 1).

Визначаємо температуру поверхні залізобетонного перекриття. Площа пожежі $S_{\text{пож}} = 1 \text{ м}^2$ згідно з даними експерименту [6].

$$t_w = t_c - \frac{\eta\psi Q_n^p S_{\text{пож}} \varphi}{\alpha \cdot F} = t_c - \frac{0,97 \cdot 0,0145 \cdot 13,8 \cdot 10^6 \cdot 1 \cdot 0,5}{138 \cdot 24} = 370,1^\circ\text{C}.$$

Аналогічні розрахунки здійснюємо для різної тривалості пожежі, а саме 227 і 1038 с та заносимо результати розрахунків в табл. 1.

Для порівняння результатів розрахунків за наведеною методикою використовуємо дані експерименту інших дослідників, а саме результати роботи [7].

Приклад 2. Для порівняння розглянемо приміщення розміром $2,74 \times 3,34$ м та висотою $2,79$ м [7]. Отже площа поверхні, з якою здійснюється теплообмін, становить $9,15 \text{ м}^2$.

Пожежне навантаження у приміщенні здійснювали з розрахунку 50 кг/м^2 площі підлоги за допомогою дерев'яних брусків довжиною 600 мм, перерізом 50×50 мм, теплота згорання яких 13800 кДж/кг [3]. Лінійна швидкість поширення полум'я $0,0108 \text{ м/с}$ [3]. Перекриття залізобетонне. Температура в приміщенні зростала за такою залежністю

$$t_c = 28,8 \cdot \frac{\tau}{60} + 16. \quad (14)$$

На 800 с експерименту температура сягнула 400°C .

$$t_c = 28,8 \cdot \frac{800}{60} + 16 = 400^\circ\text{C}.$$

Коефіцієнт теплообміну при температурі 400°C дорівнює $138 \text{ Вт/(м}^2 \cdot ^\circ\text{C)}$ (рис. 1).

Визначаємо температуру поверхні залізобетонного перекриття. Приймаємо $S_{\text{пож}} = 1 \text{ м}^2$, згідно з даними експерименту [7], звідки

$$t_w = t_c - \frac{\eta\psi Q_n^p S_{\text{пож}} \varphi}{\alpha \cdot F} = t_c - \frac{0,97 \cdot 0,0145 \cdot 13,8 \cdot 10^6 \cdot 1 \cdot 0,5}{138 \cdot 9,15} = 323^\circ\text{C}.$$

Аналогічні розрахунки здійснюємо на моменти часу $\tau=368$ с та $\tau=1200$ с.

Результати розрахунків t_w за (10) та відповідні експериментальні дані

Час, с	Температура середовища, °C	Температура поверхні, що нагрівається, °C		Відхилення, %
		Результати розрахунків	Експериментальні дані	
Порівняння з даними [6]				
35	400	370	310	16,2
227	700	666	610	8,4
1038	1000	966	960	0,6
Середнє значення похибки				8,4
Порівняння з даними [7]				
368	200	134	150	11,9
800	400	323	350	8,4
1200	600	590	560	5,1
Середнє значення похибки				8,5

Похибка 16 % при температурі середовища 400 °C на 35 с експерименту [6] може бути обумовлена термічною інерцією спаїв термоперетворювачів. Для визначення цієї похибки використовується балансове рівняння, яке описує залежність температури середовища від температури спаю, його теплофізичних характеристик та часу [6].

$$\frac{dt}{d\tau} = m[t_c(\tau) - t] \quad (15)$$

де: t – температура спаю, °C, $m = \frac{\alpha \cdot S}{V \cdot C \cdot \rho}$; α – коефіцієнт тепловіддачі від газу до спаю, Вт/(м²·°C); S – площа поверхні спаю, м²; V – об'єм спаю, м³; C – теплоємність матеріалу спаю, Дж/(кг·°C); ρ – густина матеріалу спаю, кг/м³. Згідно з даними експерименту, $m \approx 10^{-2}$ [6].

Розв'язок рівняння записується в такому вигляді

$$t = e^{-m\tau} \left[C + m \int t_c(\tau) e^{m\tau} d\tau \right] \quad (16)$$

де: $t_c(\tau)$ – зміна температури під час експерименту [6], що описується залежністю (13), C – константа, яка визначається з початкових умов ($\tau = 0, t_c = t_0$).

Після підстановки залежності (13) в залежність (15) та розрахунку при $\tau = 35$ с отримуємо значення температури спаю $t = 378$ °C порівняно з температурою середовища 400 °C. Отже, похибка, зумовлена термічною інерцією спаїв на момент часу 35 с становить 5,5%. Тому на момент часу 35 с похибка зменшується до 10,7%, а середня похибка в цьому випадку становитиме 6,6%.

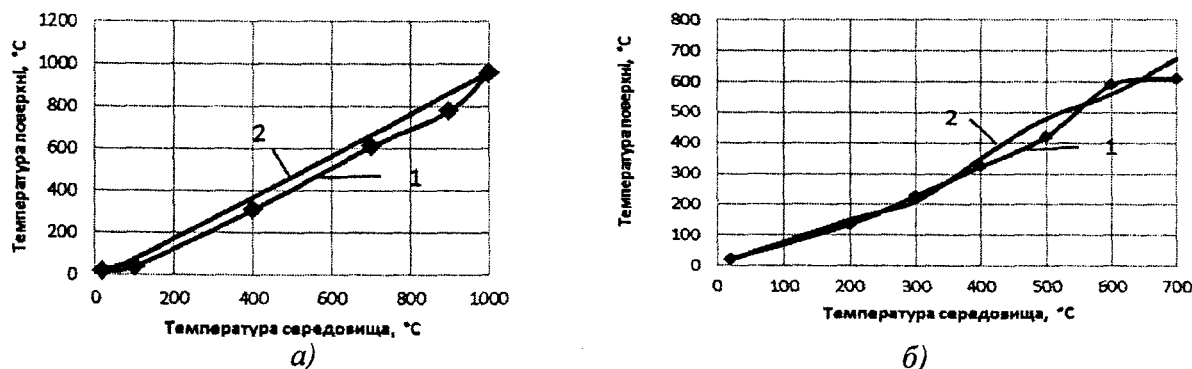


Рис. 2. Залежність температури нагрівання поверхні залізобетонного перекриття при теплообміні: 1 – результати експерименту; 2 – результати розрахунків за залежністю (10); а – результати експерименту за даними [6]; б – за даними [7]

2. Визначання температури нагрівання поверхні залізобетонної конструкції з урахуванням критерію подібності Грасгофа

Число Грасгофа — критерій подібності, що визначає процес тепломасообміну при вільному русі в полі гравітації і який є мірою відношення архімедової сили, обумовленої нерівномірним розподілом густини в неоднорідному температурному полі, і силами міжмолекулярного тертя

$$Gr = \frac{g\beta(t_c - t_w)x^3}{\nu^2}, \quad (17)$$

де: g — пришвидшення вільного падіння, m/c^2 ; β — температурний коефіцієнт об'ємного розширення теплоносія, для газів $^{\circ}C^{-1}$; t_c — температура середовища, $^{\circ}C$; t_w — температура поверхні конструкції, на якій проходить теплообмін, $^{\circ}C$; x — найбільший лінійний розмір поверхні, що нагрівається, м.

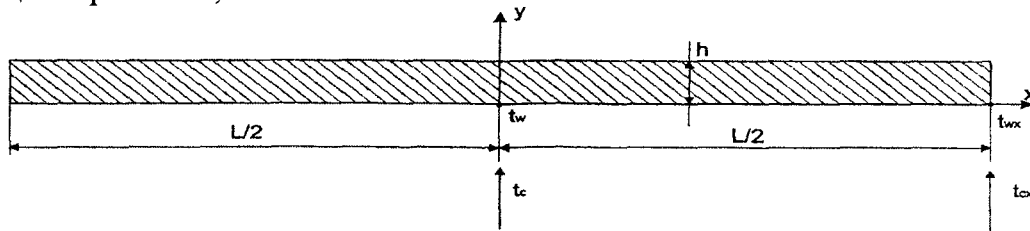


Рис. 3. Поверхня, що нагрівається, з лінійним розміром L

Оскільки об'єм приміщення не змінюється $V = \text{const}$, температурний коефіцієнт об'ємного розширення теплоносія (повітря) приймаємо

$$\beta = \frac{1}{t_c}. \quad (18)$$

Коефіцієнт кінематичної в'язкості димових газів при нагріванні описується лінійною залежністю, яка отримана в результаті обробки методами математичної статистики табличних даних [4], які наведені в табл. 2.

$$\nu = 0,1225t_c + 11,367. \quad (19)$$

Таблиця 2

Залежність коефіцієнта кінематичної в'язкості димових газів від температури [4]

Температура, $^{\circ}C$	20	100	200	300	400
Кінематична в'язкість, $m^2/c \cdot 10^{-6}$	15,11	23,06	34,63	47,85	62,53

Після статистичної обробки результатів експерименту [6] з використанням залежності (13) та графічних залежностей температур середовища та поверхні конструкції від часу проведення експерименту [6], дані якого наведені в табл. 3, отримано залежність

$$Gr = 19,4 \cdot 10^{10} \cdot e^{-0,01 \cdot t_c}. \quad (20)$$

Таблиця 3

Залежність температури середовища та поверхні конструкції, що нагрівається, від часу проведення експерименту [6]

Час, с	Температура середовища, $^{\circ}C$	Температура поверхні конструкції, $^{\circ}C$
35	400	310
230	700	610
700	900	780
1040	1000	960

З урахуванням визначених даних запишемо залежність для розрахунку температури поверхні залізобетонної конструкції від її лінійних розмірів та температури середовища

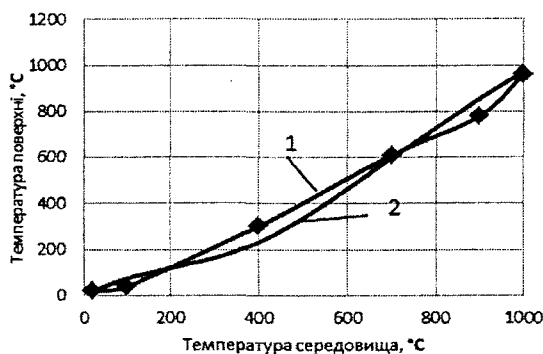
$$t_w = t_c - \frac{t_c \cdot 19,4 \cdot 10^{10} \cdot e^{-0,01 \cdot t_c} \cdot ((0,1225 t_c + 11,367) \cdot 10^{-6})^2}{g \cdot x^3}. \quad (21)$$

У табл. 4 та рис. 4 наведено відомі дані експериментальних вимірювань [6, 7] та результати розрахунку величини t_w .

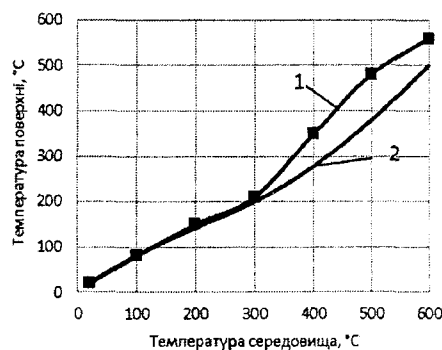
Таблиця 4

Результати розрахунків t_w за (21) та відповідні експериментальні дані

Час, с	Температура середовища, °С	Температура поверхні, що нагрівається, °С		Відхилення, %
		Результати розрахунків	Експериментальні дані	
Порівняння з даними [6]				
35	400	270,6	310	12,9
227	700	597,2	610	2,1
1038	1000	972,8	960	1,3
Середнє значення похибки				5,4
Порівняння з даними [7]				
368	200	178,5	150	19
800	400	369,2	350	5,4
1200	600	556,6	560	8,3
Середнє значення похибки				10,9



а)



б)

Рис. 4. Залежність температури поверхні залізобетонного перекриття, що нагрівається, при теплообміні: 1 – результати експерименту; 2 – результати розрахунків за залежністю (21); а – результати експерименту за даними [6]; б – за даними [7]

На основі даних табл. 4 визначено відхилення отриманих результатів розрахунку від експериментальних даних. Зокрема, встановлено, що теоретичні значення величини t_w відрізняються від експериментальних даних [6, 7] на 5,4% і 10,9% відповідно.

3. Визначення температури нагрівання поверхні залізобетонної конструкції за математичною моделлю

Модель має такий вигляд:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} \rho c(t) = \lambda(t) \frac{\partial^2 t}{\partial y^2}; \quad (22)$$

з початковими умовами

$$\partial t(y, 0) = t_0; \quad (23)$$

та граничними умовами

$$-\lambda(t) \frac{\partial t(0, \tau)}{\partial y} = \alpha [t_c - t_w]; \quad (24)$$

Дослідимо температуру поверхні залізобетонної плити перекриття при зміні температури середовища у часі – $t_c = f(\tau)$. Розв'язок такої задачі (22) знайдений в роботі [5]. Температура визначалась на поверхні конструкції, тобто при $y=0$

$$t_w(y=0, \tau) = \int_0^\tau B \cdot \{345 \cdot \lg[0,133 \cdot (\tau - v) + 1] + t_0\} dv, \quad (25)$$

$$B = \frac{\alpha}{\lambda(t)} \sqrt{\frac{a_{red}}{\pi v}} \exp\left(-\frac{y^2}{4a_{red}v}\right) - a_{red} \left(\frac{\alpha}{\lambda(t)}\right)^2 \exp\left(\frac{\alpha}{\lambda(t)} y + a_{red} \left(\frac{\alpha}{\lambda(t)}\right)^2 v\right) \operatorname{erfc}\left(\frac{y}{2\sqrt{a_{red}v}} + \frac{\alpha}{\lambda(t)} \sqrt{a_{red}v}\right),$$

де: t
році

де: t
тону
 $W_b =$

де ρ

Важ
Важ
Кон

зульт

Час
с

35
22
103
Сел

36
80
120
Сел

P
m

де: v – змінна, яка при інтегруванні набуває значення від τ до 0; $\alpha_{r\theta d}$ – коефіцієнт теплопровідності [1], визначається за такою залежністю

$$\alpha_{r\theta d} = \frac{\lambda(t)}{(c(t)+0,012 \cdot W_b) \cdot \rho_{dr}} \quad (26)$$

де: $\lambda(t)=1,2-0,00035 \cdot t$ – коефіцієнт теплопровідності бетону [1], Вт/(м·°С); ρ_{dr} – щільність бетону в сухому стані, кг/м³; W_b – вологість бетону (2-4%), при розрахунках приймають $W_b=3,5\%$ [1]; $c(t)=0,71+0,00083 \cdot t$ – питома теплоємність матеріалу, кДж/(кг·°С) [1];

$$\rho_{dr} = \frac{\rho_b}{1 + \frac{W_b}{100}} \quad (27)$$

де ρ_b – щільність бетону (табл. 5), кг/м³.

Таблиця 5

Щільність бетону [1]

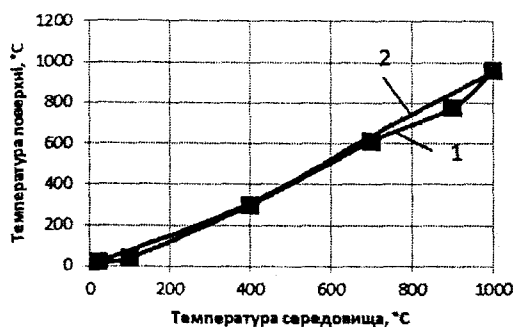
Вид бетону	Щільність бетону ρ_{dr} , кг/м ³
Важкий на гранітному заповнювачі	2350
Важкий на вапняковому заповнювачі	2350
Конструкційний керамзитобетон	1400-1600

У табл. 6 та рис. 5 наведено відомі дані експериментальних вимірювань [6, 7] та результати розрахунку величини t_w .

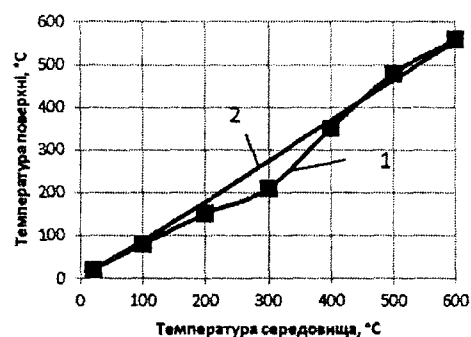
Таблиця 6

Результати розрахунків t_w за (25) та відповідні експериментальні дані

Час, с	Час, хв	Температура середовища, °С	Температура поверхні, що нагрівається, °С		Відхилення, %
			Результати розрахунків	Експериментальні дані	
Порівняння з даними [6]					
35	0,58	400	309,1	310	0,3
227	3,78	700	640,2	610	4,9
1038	17,3	1000	956,4	960	0,4
Середнє значення похибки					1,9
Порівняння з даними [7]					
368	6,13	200	177,9	150	18,6
800	13,3	400	370,0	350	5,7
1200	20,0	600	556,6	560	0,6
Середнє значення похибки					8,3



а)



б)

Рис. 5. Залежність температури нагрівання поверхні залізобетонного перекриття при теплообміні: 1 – результати експерименту; 2 – результати розрахунків за залежністю (25); а – результати експерименту за даними [6]; б – за даними [7]

Зі збільшенням температури відхилення зменшується. Результати розрахунку відхилень, залежно від методу визначення температури нагрівання поверхні залізобетонної конструкції, показують, що середнє відхилення для визначення температури поверхні з використанням рівняння теплопровідності та граничних умов III роду знаходиться в межах 1,9...8,3%. Тому представлений метод визначення граничної температури t_w з використанням рівняння теплопровідності та граничних умов III роду можна рекомендувати для розрахунку температури вогнестійкості залізобетонних конструкцій.

Алгоритм представленого методу такий:

1. Необхідно записати залежність, за якою змінюється температура середовища під час пожежі з часом. Наприклад, можна використати стандартний температурний режим, що описується залежністю

$$t_c = 345 \lg(0,133 \cdot (\tau - \nu) + 1) + t_0. \quad (28)$$

2. Записуємо залежність зміни значення коефіцієнта теплопровідності (наприклад, для залізобетонних конструкцій $\lambda(t) = 1,2 - 0,00035 \cdot t_c$) та питомої теплоємності (наприклад, для залізобетонних конструкцій $c(t) = 0,71 + 0,00083 \cdot t_c$) від температури.

3. Записуємо залежність зміни значення коефіцієнта температуропровідності a_{red} (26). При визначенні a_{red} необхідно перевести $\lambda(t)$ з $\text{Вт}/(\text{м} \cdot ^\circ\text{C})$ в $\text{кДж}/(\text{год} \cdot \text{м} \cdot ^\circ\text{C})$ (наприклад, для залізобетонних конструкцій $\lambda(t) = 4,32 - 0,00126 \cdot t_c$, $\text{кДж}/(\text{год} \cdot \text{м} \cdot ^\circ\text{C})$), Записуємо значення коефіцієнта теплообміну α на поверхні, що нагрівається (рис. 1).

4. Визначаємо температуру поверхні залізобетонної плити за залежністю (25). Необхідно записати залежність (25) в середовище MathCad і замість $f(\tau - \nu)$ використовувати залежність, за якою змінюється температура середовища під час пожежі з часом. Наприклад в нашому випадку була врахований стандартний температурний режим за залежністю (28), тобто

$$t_w(y = 0, \tau) = \int_0^\tau B \cdot \{345 \cdot \lg[0,133 \cdot (\tau - \nu) + 1] + t_0\} d\nu.$$

Висновки:

1. Розрахунок коефіцієнта теплообміну між середовищем та поверхнею досліджуваної залізобетонної конструкції показав, що його значення під час пожежі змінюється в межах 115 – 179 $\text{Вт}/(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})$.

2. При визначенні температури нагрівання поверхні залізобетонних конструкцій з врахуванням кількості тепла, що виділяється при пожежі, середнє відхилення становить 8,5%. При визначенні температури поверхні залізобетонних конструкцій з урахуванням критерію подібності Грасгофа середнє відхилення становить 8,15 %.

3. Аналіз методів розрахунку граничної температури на поверхні конструкцій при пожежі в приміщенні показав, що найменше відхилення значень температури в межах 5,1 % відбувається при розв'язанні рівняння теплопровідності з граничними умовами третього роду. Тому для розрахунку температури нагрівання поверхні залізобетонних конструкцій при пожежі рекомендується обирати цей метод.

Література:

1. **Методические рекомендации по расчету огнестойкости и огнестойкости железобетонных конструкций.** – М. : ГУП «НИИЖБ», 2000 – 92 с.

2. **Величко Л.Д.** Термодинаміка та теплопередача в пожежній справі / Л.Д. Величко, Р.Я. Лозинський, М.М. Семерак; ЛДУ БЖД. – Львів : Вид-во «СПОЛОМ», 2011. – 504 с.

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

4. **Инженерный справочник.** Таблицы DPVA.info. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.dpva.info/Guide/GuideMedias/GuideAir/AirMaithHeatPropAndPrandt/>

5. **Лыков А.В.** Теория теплопроводности / А.В. Лыков – М. : Изд-во «Высшая шк.». – 1967. – 600 с.

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

7. Коляков М.И. Огневые испытания железобетонных объемных блоков крупнопанельных зданий / Коляков М.И., Хазарадзе М.А. // Промышленное строительство и инженерные сооружения. – 1989. – № 1. – С. 30-31.

8. Пузач С.В. Методы расчета тепломассообмена при пожаре в помещении и их применение при решении практических задач пожаровзрывобезопасности / С.В. Пузач – М. : Академия ГПС МЧС России, 2005. – 336 с.

Э.Н. Гулида, А.А. Ренкас

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ НАГРЕВАНИЯ ПОВЕРХНОСТИ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ПОЖАРЕ В ПОМЕЩЕНИИ

Проанализированы результаты расчета температуры поверхности железобетонных конструкций, которая нагревается, при пожаре в помещении, с использованием методов расчета теплообмена. В частности, при решении задачи теплопроводности с использованием предельных условий первого рода для расчета температуры поверхности учитывалось количество тепла, выделяемое при пожаре, и изменение коэффициента теплообмена. Также при решении этой проблемы рассмотрен критерий подобия Грасгофа, позволяющий описать процесс передачи тепла на поверхность, с которой осуществляется теплообмен. Данные расчетов сравнены с экспериментальными данными и установлена погрешность.

Ключевые слова: пожар, площадь пожара, температура, температурные поля, предельные условия, огнестойкость.

E.M. Gulida, A.A. Rencas

DETERMINATION OF TEMPERATURE OF HEATING OF SURFACE OF REINFORCE-CONCRETE CONSTRUCTIONS AT FIRE IN APARTMENT

The results of calculation of temperature of surface of reinforce-concrete constructions, which is heated, are analysed, at a fire in an apartment, with the use of methods of calculation of heat exchange. In particular, at the decision of task of heat-conducting with the use of boundary conditions of the first kind for the calculation of temperature of surface an amount was taken into account warm, that distinguished at a fire, and change of coefficient of heat exchange. Also at the decision of this problem the criterion of similarity of Grashof is considered, which allows to describe the process of transmission of heat on a surface which a heat exchange is carried out with. Data of calculations are compared to experimental data and an error is set.

Key words: fire, area of fire, temperature, temperature fields, maximum terms, fire-resistance.

