



Державна служба України з надзвичайних ситуацій
Академія пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля

№21'2016

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

Збірник наукових праць

Наукове видання

***ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА:
ТЕОРІЯ І ПРАКТИКА***
№ 21'2016

Збірник наукових праць



Підписано до друку 19.01.2016 р. Обл.-вид. арк. 8. Тираж 100
прим. Замовлення № 219.

Віддруковано у секторі РВР ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗУ
18034, м. Черкаси, вул. Онопрієнка, 8.

УДК 614.841.332

С. О. Сідней, О. М. Нуязін, кандидат технічних наук, О. М. Тищенко, кандидат технічних наук, професор, О. В. Некора, кандидат технічних наук, старший науковий співробітник, ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, В. І. Осипенко, доктор технічних наук, професор, Черкаський державний технологічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОГРІВУ ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ СТІНИ ЗА УМОВ НЕРІВНОМІРНОГО ТЕПЛООВОГО ВПЛИВУ ПРИ ЇЇ ВИПРОБУВАННЯХ НА ВОГНЕСТІЙКІСТЬ

У даній статті розв'язано теплотехнічну задачу щодо визначення нерівномірності температурного розподілу у внутрішніх шарах залізобетонної несучої стіни при випробуваннях на вогнестійкість у спеціальних вогневих установках. Під час роботи застосовано обчислювальні експерименти з використанням CFD програм і методу кінцевих елементів.

Ключові слова: обчислювальний експеримент, дисперсія температури, несуча стіна, значення межі вогнестійкості.

Постановка проблеми. В умовах пожежі порушення загальної стійкості будівлі завжди відбувається внаслідок руйнування окремих елементів в каркасі споруди. Зважаючи на це, одним із важливих аспектів забезпечення пожежної безпеки у наш час є застосування будівельних конструкцій із гарантованою межею вогнестійкості.

Для визначення меж вогнестійкості найбільш поширеним є метод випробувань у спеціальних вогневих випробувальних печах. Проте, вогневі випробування та параметри сучасних випробувальних установок далекі від досконалості, оскільки існують похибки, внаслідок того, що управління паливною системою та конфігурація вогневих печей не забезпечують повну відповідність умов проведення експерименту вимогам стандартів у даній галузі.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Дослідженням процесу випробувань на вогнестійкість залізобетонних конструкцій займалися і займаються багато вчених. Відповідно до праць дослідників для визначення фактичних меж вогнестійкості вважається найбільш надійнішим і достовірним метод вогневих випробувань у спеціальних вогневих печах. Тому питання його удосконалення є актуальним і важливим.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття. У роботах вчених недостатньо уваги було приділено впливу на значення межі вогнестійкості несучих стін дисперсії температур по їх обігрівальній поверхні, тому розв'язання цієї задачі є актуальним і сприятиме підвищенню ефективності випробувань з оцінювання вогнестійкості несучих стін.

Постановка задачі та її розв'язання. Метою роботи є визначення нерівномірності температурного розподілу у внутрішніх шарах залізобетонної несучої стіни при випробуваннях на вогнестійкість у спеціальних вогневих установках. Для цього ми розв'язали теплотехнічну задачу щодо визначення несучої здатності залізобетонної стіни.

Для дослідження впливу дисперсії температур по поверхні несучих стін на їх межу вогнестійкості за граничним станом втрати несучої здатності була розглянута залізобетонна стіна, що представлена на рис. 1.

Залізобетонна стіна, що наведена на рис. 1 має конструкцію, яка широко застосовується для огородження шляхів евакуації. Тому саме така конструкція вибрана нами для досліджень.

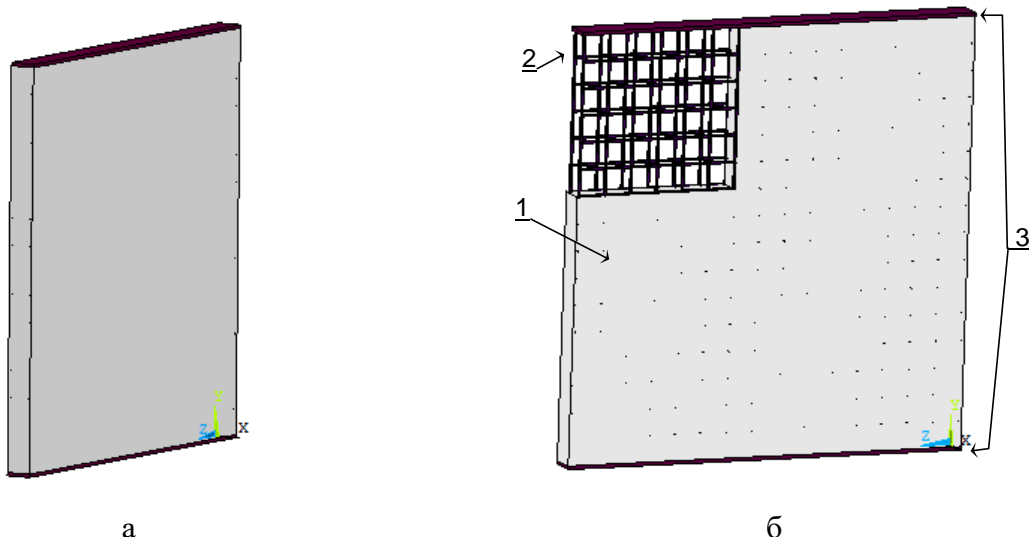


Рисунок 1 – Схема розрахункової області залізобетонної несучої стіни для проведення розрахунку межі вогнестійкості (а – загальний вигляд, що використовують під час обчислювального експерименту, б – схема армування): 1 –бетон, 2 –робочий арматурний каркас $d = 16$ мм, 3 – траверси навантажувальної рами.

При визначенні межі вогнестійкості даної стіни за настанням втрати несучої здатності нами була застосована методика, запропонована в роботах [1-3]. Алгоритм даної методики наведений на рис. 2 та рис. 3 у вигляді блок-схем.

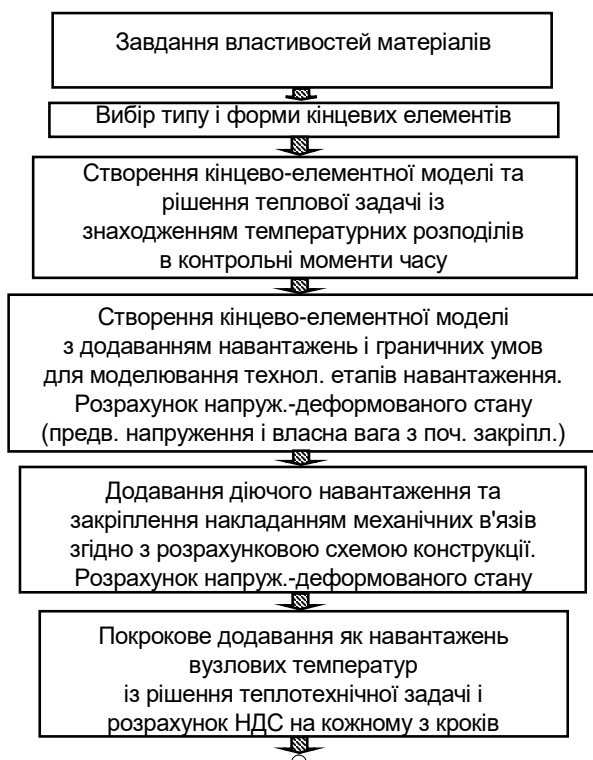


Рисунок 2 – Структурна схема розрахункових процедур

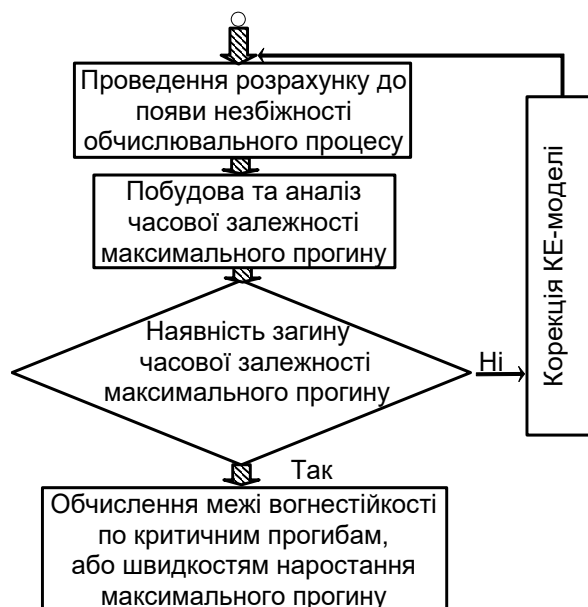


Рисунок 3 – Структурна схема визначення межі вогнестійкості за розрахованими параметрами.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих результатів.

Теплова задач вирішувалася з використанням даних розподілення температури по обігрівній поверхні стіни, що були визначені нами у попередній роботі [3].

Згідно із рис. 2 та рис. 3 для чисельного моделювання теплової дії на залізобетонну стіну був використаний метод кінцевих елементів (МКЕ).

При розв'язку теплотехнічної задачі як першого етапу нами були прийняті такі основні положення.

1. Для розрахунку використовується квазілінійне параболічне рівняння теплопровідності з граничними умовами (ГУ) III роду при обліку конвекційного і радіаційного теплообміну із середовищем пожежі.

2. Температурний режим пожежного середовища збігається зі стандартною температурною кривою пожежі.

3. У силу великої різниці в температуропровідності арматурної сталі і бетону, теплообмін враховується тільки в бетоні.

4. Внаслідок невеликого впливу теплообміну конвекцією в порожнинах елементів, враховується тільки його радіаційна складова.

5. Теплофізичні характеристики (ТФХ) бетону представляються температурними залежностями згідно [4].

6. Рівняння теплопровідності вирішується із застосуванням методу кінцевих елементів (МКЕ) з використанням комп'ютерної системи ANSYS Mechanical.

На рис. 4 показана геометрична схема перерізу плити.

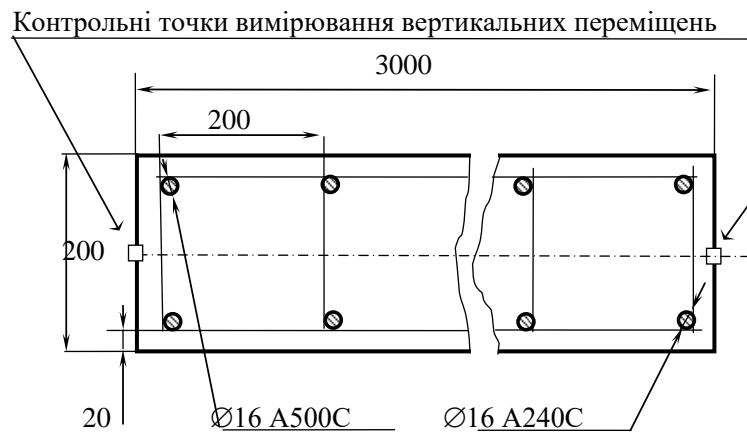


Рисунок 4 – Геометрична конфігурація перерізу залізобетонної стіни.

Рівняння теплопровідності має наступний вигляд [4, 5]:

$$c_p(T)\rho(T)\frac{\partial T}{\partial t} = \nabla(\lambda(T)\nabla T), \quad (1)$$

де $\rho(T)$ - густина, $c_p(T)$ – питома теплоємність, $\lambda(T)$ – коефіцієнт теплопровідності, залежні від температури T .

При вирішенні рівняння теплопровідності на обігрівальній стороні стіни були використані граничні умови I роду:

$$T_w \Big|_{y=b} = T_\Gamma, \quad (2)$$

В даному випадку у кожній вузловій точці обігрівної поверхні прикладається температура, що визначена у результаті розрахунку температури розрахункової області вогневої печі у [3].

Для необігрівальної сторони стіни використовуються граничні умови III роду:

$$-\lambda(T)\frac{\partial T}{\partial r} = \alpha(T_P - T_W), \quad (3)$$

де T_P – температура повітря біля необігрівальної сторони стіни, T_W – температура поверхні елемента, $\alpha = 9 \text{ Вт}/(\text{м}^2\text{°C})$ - коефіцієнт теплообміну за [5], T_P – температура середовища пожежі.

Для розв'язку задачі теплопровідності за методом кінцевих різниць необхідно задатись початковими даними. Згідно із розробленою нами методикою нами були встановлені такі початкові дані:

- початкова температура $\theta_0 = 20 \text{ °C}$;
- просторовий крок інтегрування $\Delta h \sim 0.02 \text{ м}$;
- часовий крок інтегрування – $\Delta t = 60 \text{ с}$.

Теплофізичні властивості наведені у табл. 1. Дані теплофізичні властивості рекомендовані у стандарті [5], що є чинним в Україні.

На рис. 5 подані графіки температурних залежностей теплофізичних характеристик бетону, що були побудовані при використанні даних, наведених у табл. 1.

Таблиця 1

Теплофізичні характеристики матеріалів зовнішньої стіни та плити перекриття

Коефіцієнт теплопровідності, $\lambda(\theta), \text{Вт}/(\text{м}\cdot\text{°C})$	Об'ємна питома теплоємність, $c_p(\theta)\cdot\rho$, $\text{Дж}/(\text{м}^3\cdot\text{°C})$	Густина, $\text{кг}/\text{м}^3$
Важкий бетон на силікатному заповнювачі [4]		
$2 - 0,2451 \frac{\theta}{100} + 0,0107 \left(\frac{\theta}{100}\right)^2$	900ρ при $20 \text{ °C} \leq \theta \leq 100 \text{ °C}$, $(900+(\theta - 100))\rho$ при $100\text{°C} < \theta \leq 200\text{°C}$, $(1000+0,5(\theta-100))\rho$ при $200\text{°C} < \theta \leq 400\text{°C}$, 1100ρ при $400\text{°C} < \theta \leq 1200\text{°C}$	2300

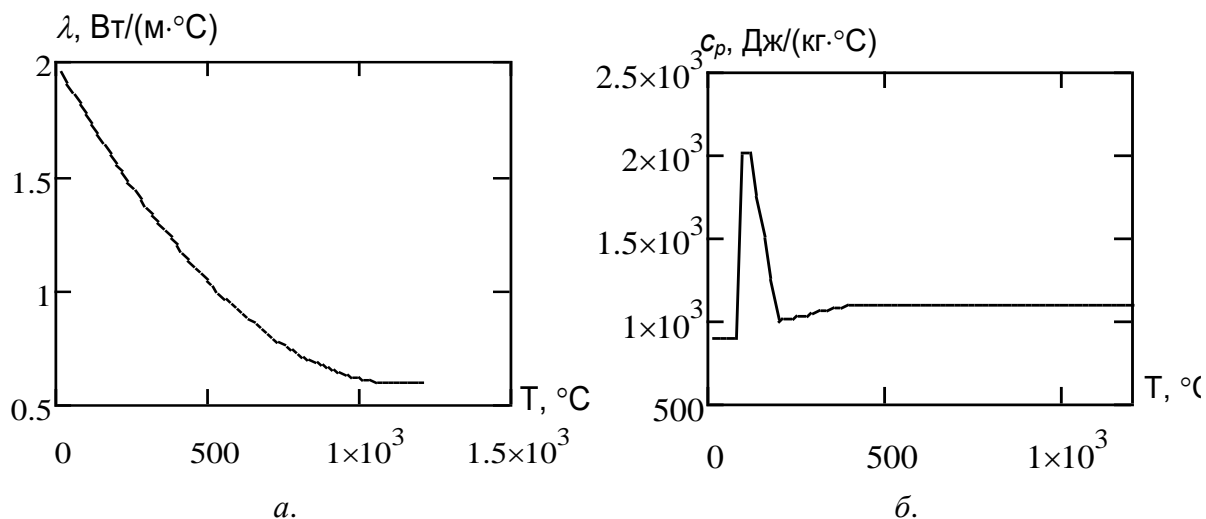


Рисунок 5 – Теплофізичні характеристики бетону: *a* – коефіцієнт теплопровідності; *б* – питома теплоємність.

Для розв'язку теплотехнічної задачі прогрівання досліджуваної залізобетонної стіни була побудована кінцево-різницева схема, яка наведена на рис. 6. На даній схемі показані типи граничних умов, що були накладені для здійснення розрахунку.

Для здійснення розрахунку був використаний програмний комплекс ANSYS. При цьому були встановлені параметри обчислювального блоку, подані на рис. 2 і рис. 3.

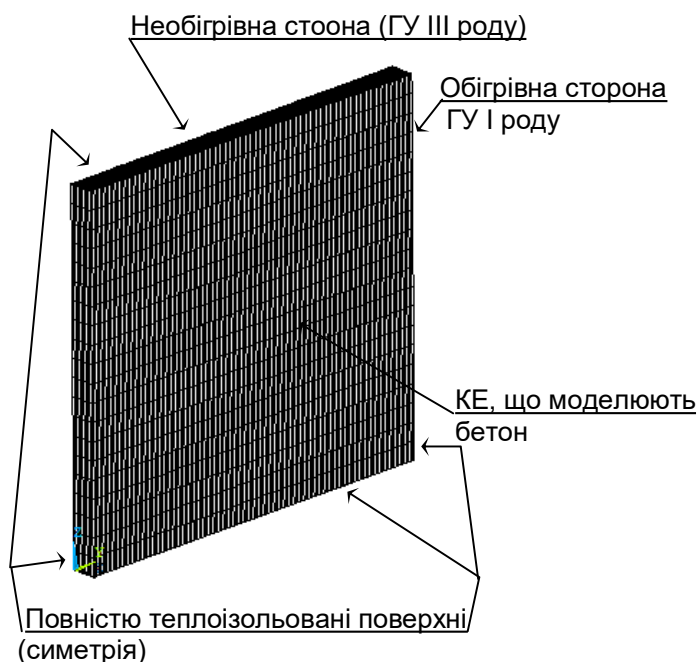


Рис. 6. Кінцево-різницева схема залізобетонної стіни для вирішення теплотехнічної задачі.

Таблиця 2

Параметри обчислювального процесу

Параметр обчислювального процесу	Одиниці виміру	Значення
Тип аналізу		Нестаціонарний
Автоматичний вибір кроку інтегрування		Включений
Часовий крок інтегрування	с (хв.)	60 (1)
Найменший часовий крок	с	10
Найбільший часовий крок	с	60
Максимальна кількість ітерацій		1000
Спосіб прикладання навантаження		Ступінчастий
Тип обчислювальної схеми		Неявна
Точність збіжності обчислень	(%)	0.005 (0,5)
Максимальний час випробування	с (хв.)	320 (19200)

Результати розв'язку теплотехнічної задачі:

Після розв'язку теплотехнічної задачі нами були отримані температурні розподіли у залізобетонній стіні, що представлені на рис. 7.

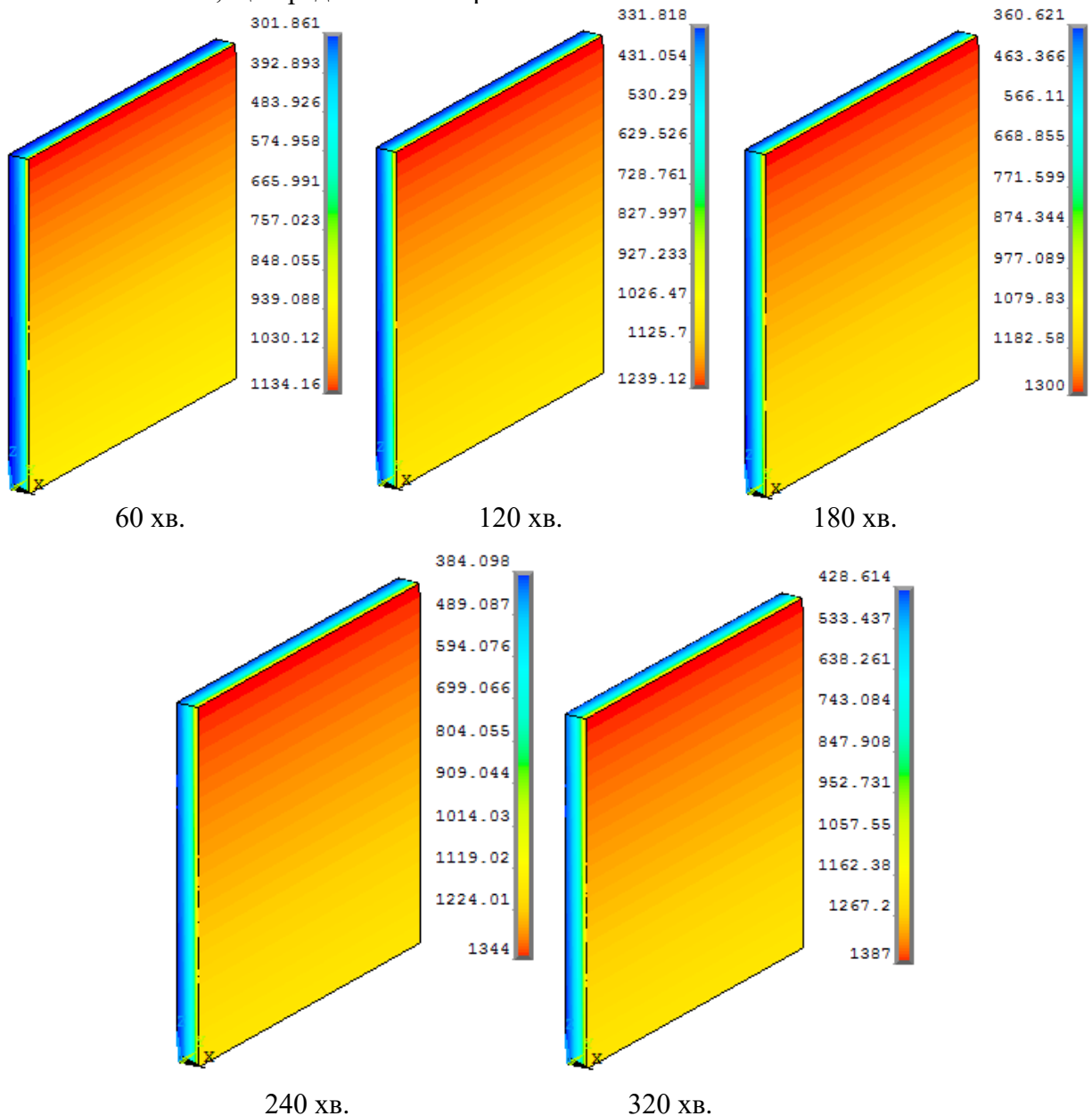


Рисунок 7 – Температурні розподіли (К) у залізобетонній стіні, що були отримані у результаті теплотехнічного розрахунку, у різні моменти часу її вогневого випробування.

Дані, що були нами отримані у результаті теплотехнічного розрахунку були отримані при прикладанні температур на нову сіткову модель при проведенні лінійної інтерполяції. Це пояснює те, що картина поверхневого розподілення не обігрівної сторони дещо відрізняється від вихідних розподілів.

Подібні розподіли були визначені нами при вирішенні теплотехнічної задачі для інших модифікацій вогневих печей, що показані у [3]. Отримані дані будуть використані для розв'язку міцнісної задачі щодо визначення несучої здатності залізобетонної стіни в умовах пожежі і визначено залежність значень межі вогнестійкості несучих стін від дисперсії температур на їхніх обігрівальних поверхнях.

Висновок: У даній статті ми розв'язали теплотехнічну задачу щодо визначення несучої здатності залізобетонної стіни в умовах пожежі. Це необхідно для продовження досліджень з визначення залежності значень межі вогнестійкості несучих стін від дисперсії

температур на їхніх обігрівальних поверхнях як наукового підґрунтя для підвищення ефективності оцінювання результатів таких випробувань. Наступним етапом є вирішення міцнісної задачі щодо визначення несучої здатності залізобетонної стіни в умовах пожежі.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Аналіз існуючих математичних моделей тепломасообміну у камерах вогневих печей установок для випробувань на вогнестійкість несучих стін / Нуянзін О. М., Поздєєв С. В., Сідней С. О. [та ін.] // Пожежна безпека : теорія і практика : зб. наук. праць. – Черкаси: АПБ, 2015. – № 18. – С. 91 – 100.
2. Нуянзін О.М. Дослідження впливу конструкції виміррювальної арматури вогневих печей на адекватність результатів випробувань на вогнестійкість / О.М. Нуянзін, С.В. Поздєєв // Пожежна безпека : теорія і практика : зб. наук. праць. – Черкаси: АПБ, 2011. – № 9. – С. 99 – 105.
3. Сідней С.О. Чисельне дослідження ефективності випробувань на вогнестійкість несучих стін у вогневих печах різної конфігурації // Пожежна безпека : теорія і практика : зб. наук. праць. – Черкаси: АПБ, 2015. – № 19. – С. 78 – 83.
4. ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012 Єврокод 2: Проектування залізобетонних конструкцій. Частина 1-2. Загальні положення. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість.
5. Основы пожарной теплофизики / М. П. Башкирцев, Н. Ф. Бубырь, Н. А. Минаев [и др.] – М. : Стройиздат, 1984. – 200 с.