

УДК 614.841.415

DOI: <https://doi.org/10.31731/2524.2636.2021.5.2-75-82>

*Аліна Перегін (ORCID:0000-0003-2062-5537),
Олександр Нуязін, канд. техн. наук, доцент (ORCID: 0000-0003-2527-6073)
Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля
Національного університету цивільного захисту України*

ЕТАПИ СТВОРЕННЯ ПРОТОТИПУ ВОГНЕВОЇ УСТАНОВКИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ ТЕМПЕРАТУРНИХ РОЗПОДІЛІВ МАЛОГАБАРИТНИХ ФРАГМЕНТІВ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

Будівельні конструкції виконують важливу роль у забезпеченні протипожежного захисту будівель, тому визначення вогнестійкості будівельних конструкцій належить до актуальних питань. Як при експериментальних так і при розрахункових методах визначення вогнестійкості існують похибки, відповідно вдосконалення методів та засобів є доцільним питанням. За результатами даної роботи встановлено наступне: метою роботи було створення прототипу малогабаритної вогневої установки та аналіз результатів тестових запусків, зокрема температурних розподілів у камері вогневої печі та можливості досягнення температурного режиму «стандартної» пожежі.

Було розглянуто та проаналізовано літературні джерела, в яких зазначені основні вимоги методів випробування на вогнестійкість будівельних конструкцій, на основі яких було створено прототип компактної вогневої установки для дослідження вогнестійкості вертикальних несучих будівельних конструкцій. Розкрито методику проведення експериментального дослідження щодо визначення вогнестійкості вертикальних несучих будівельних конструкцій. Перевірено розподіл температур по всій площі вогневої печі та проаналізовано отримані результати. Створений прототип вогневої печі дає можливість експериментально визначати вогнестійкість вертикальних несучих будівельних конструкцій.

Проаналізувавши отримані результати проведеного експерименту, стало можливим стверджувати, що даний метод випробування будівельних конструкцій на вогнестійкість дозволяє відтворити стандартний температурний режим у камері печі.

Ключові слова: *вогнева піч, випробування, температура, експериментальний метод, вогнестійкість, малогабаритний фрагмент, термopара, термістор, модуль аналого-цифрового перетворення, залізобетонна стіна.*

Постановка проблеми. Впродовж останніх 5 років збільшилася кількість пожеж, зокрема у будівлях і спорудах виробничого та житлового призначення. Через особливості проектних рішень вищезазначених будинків, важливим є забезпечення вогнестійкості як окремих елементів будівельних конструкцій, так і їхньої вогнестійкості в цілому.

Постійно розробляються різноманітні теоретичні, експериментальні, розрахункові, моделюючі методи визначення межі вогнестійкості будівельних конструкцій, які дають можливість визначати вогнестійкість значної кількості конструктивних систем без проведення затратних та трудомістких вогневих випробувань. Проте, при цьому необхідно враховувати, що експериментальні дослідження вогнестійкості будівельних конструкцій дають змогу визначати вогнестійкість дуже великої кількості конструкцій з реальними розмірами на різні вогневі впливи, які можна змоделювати у вогневій камері.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. У сфері пожежної безпеки за кордоном у європейському стандарті EN 1363-1:1999 “Fire resistance tests – Part 1: General requirements (Випробування на вогнестійкість. Частина 1: Загальні вимоги) та у міжнародному стандарті ISO 834-1: 1999 “Fire resistance tests –Elements of building construction – Part 1: General requirements (Випробування на вогнестійкість. Елементи будівельних конструкцій - Частина 1: Загальні вимоги) для визначення межі вогнестійкості будівельних конструкцій застосовується метод випробувань, зміст якого полягає у визначенні проміжку часу від початку випробування до настання одного з нормованих для даної конструкції граничних станів вогнестійкості в умовах стандартного температурного режиму [1].

Проаналізувавши літературні джерела [2-4], встановлено, що існують великогабаритні печі, в яких можна проводити дослідження на визначення вогнестійкості будівельних конструкцій

стандартного розміру. Проте дані печі мають істотний недолік відносно ефективності: випробування у них трудомісткі, коштовні та неекологічні.

У роботі [5] за допомогою печі для теплофізичних випробувань малогабаритних фрагментів будівельних конструкцій та окремих вузлів їх стикових з'єднань [6] було досліджено в процесі нагрівання зміну температури по товщині стінової конструкції і встановлено межу вогнестійкості за ознакою втрати теплоізолювальної здатності. Проте, конструкція печі передбачає використання лише одного пальника для нагрівання камери, що може впливати на рівномірність прогріву досліджуваних конструкцій. Крім того, дана піч може бути застосована лише для випробування стін та працює на рідкому паливі. Це в свою чергу говорить про недосконалість конструкції. У даній роботі враховані конструктивні рішення для створення більш універсальної установки.

В Україні нині діє ДСТУ Б В.1.1-4-98* [7], в якому визначені вимоги щодо проведення випробування з оцінювання вогнестійкості будівельних конструкцій, а також засобів, способів та методики проведення. На думку дослідників [2-4] стандарт дещо застарів та потребує перегляду. Проте, на сьогоднішній день вимоги, зазначені у ньому є обов'язковими для проведення випробувань на вогнестійкість. Недоліком зазначеного є те, що контроль якості випробувань недостатній, а саме: нерівномірність температурного поля не контролюється, як фактор, що впливає на зразок, в камері вогневої печі. При цьому різниця температур в 100 °С і більше в печі під час випробувань однорідних зразків будівельної конструкції призводить до встановлення різних меж їх вогнестійкості (різниця може бути десятки хвилин) [8]. Цієї особливості не враховує установка, описана в [5].

Постановка задачі та її розв'язання. У даній статті описано етапи створення прототипу вогневої установки на базі Навчального комплексу практичної підготовки фахівців Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України та аналіз результатів тестових запусків установки, зокрема температурних розподілів у камері вогневої печі та можливості досягнення температурного режиму «стандартної» [7] пожежі.

Для вирішення мети поставлено завдання:

1. Описати етапи будівництва прототипу компактної установки для випробувань залізобетонних та сталезалізобетонних будівельних конструкцій для імітації теплового впливу пожежі.
2. Визначити технічні характеристики прототипу вогневої установки для проведення випробувань на вогнестійкість.
3. Проаналізувати температурний режим та заміряти можливу максимальну температуру в камері вогневої печі.
4. Зробити висновок про доцільність застосування прототипу вогневої установки для проведення випробувань на вогнестійкість залізобетонних будівельних конструкцій.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих результатів. Для проведення експерименту було створено прототип малогабаритної вогневої установки для перевірки можливостей досягнення стандартного температурного режиму в камері вогневої печі.

На рис. 1 представлено фото створеного прототипу малогабаритної вогневої установки.

Модель установки для проведення випробування на вогнестійкість (рис. 1) здатна забезпечити стандартні умови впливу вогню щодо термічного впливу і тиску. Нижче описані основні етапи будівництва прототипу вогневої установки.

Етапи створення вогневої установки :

1. Заливка фундаменту під вогневу піч: вирито котлован для основи під піч, встановлено опалубку, вирівняно та укладено піщано-щебневий шар, встановлено залізобетонну плиту та залито її рідкою цементною сумішшю;
2. Вогневу піч побудовано з вогнетривкої цегли, яка забезпечує достатню термоізоляцію камери та відповідає нормам [6];
3. У камері вогневої печі створено 4 отвори для пальників (під час проведення натурального випробування використовується тільки 2 отвори з 4, а 2 інші закриваються мінеральною ватою, що забезпечує ізоляцію від підтоку повітря ззовні) та 1 отвір для виходу продуктів горіння;
4. Димохід побудовано з 2 частин: вбудована труба діаметром 20 см, яка закладена цеглою в один ряд;
5. Знімні кришки складаються із: звареного каркасу з металу, в якому розміщена мінеральна вата, поверх якої, зі сторони, що піддається температурному впливу закріплені листи нержавіючої сталі.

Вогневу піч було виконано з трьох сторін, п-подібної форми, одну сторону конструкції збудовано не було, що дозволить досліджувати фрагмент залізобетонної стіни в умовах реальної пожежі.

Характеристика камери вогневої печі наведена в табл. 1.



Рисунок 1 – Прототип компактної установки для випробувань залізобетонних та сталезалізобетонних будівельних конструкцій в умовах теплового впливу пожежі: 1-п-подібний короб; 2-3-з'єднані кришки; 4-термопара; 5-силова підлога (фундамент); 6-газова установка; 7-димохід для виходу продуктів горіння; 8-отвір для встановлення пальників.

Таблиця 1 – Характеристика камери вогневої печі

Параметр	Одиниці виміру	Величина
Потужність	кВт	100
Максимальна температура нагріву простору камери	°С	1050
Об'єм робочої камери	м ³	1
Габаритні розміри (внутрішнього простору камери печі):		
ширина	мм	1000
довжина	мм	1000
висота	мм	1000
Максимальна швидкість нагріву камери	°С/хв.	85

Методика проведення експерименту. До початку випробування фіксується дата проведення дослідження, температура навколишнього повітря.

У камері вогневої печі для визначення температурного розподілу розміщено 3 Термопари.

Розташування термопар у стінах камери вогневої печі показано на рис. 2.

Пальники розміщені, так щоб факел їх полум'я не був в контакті один з одним і знаходився в 80 см. до випробувального зразку.

На рис. 3 зображено отвір для виходу продуктів горіння, який позначено цифрою 1, 2-5 отвори для пальників.



Рисунок 2 – Розташування термопар у стінах випробувальної установки для дослідження температурного розподілу у камері печі: 1-3 – термопари типу ТХА.

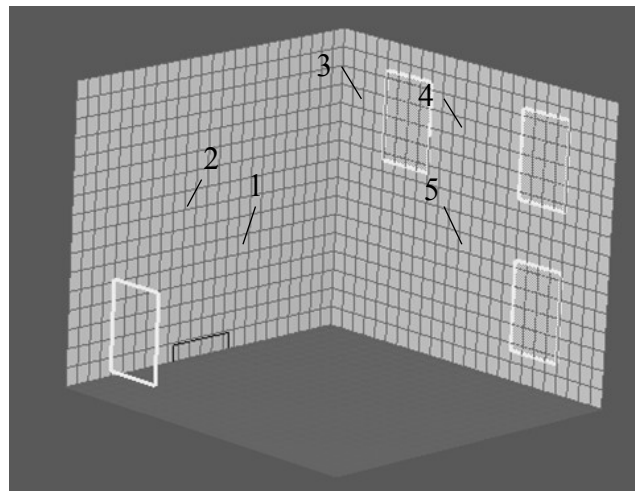


Рисунок 3 – Схема розташування отвору для виходу продуктів горіння та отворів для пальників.

Розміщення пальників та отворів для відведення продуктів горіння впливає на рівномірність розподілу температури по обігрівальній поверхні будівельних конструкцій.

Існує технічна можливість для зміни розмірів отвору для відведення продуктів горіння, що дозволяє додатково регулювати процес прогрівання камери печі та забезпечення необхідного температурного режиму пожежі.

Для перевірки можливого температурного режиму в камері вогневої печі та створення в ній відповідної температури до 2 газових балонів було підключено 2 пальники. Нагрівання газом, хоча і йде в розріз з вимогами [7], проте є більш екологічним та менш затратним. Тому було прийнято рішення щодо перевірки можливості відтворення умов випробувань з використанням пропан-бутану.

Щоб дослідити температурний режим у камері вогневої печі використовувалися термопари, загальний вигляд та схема будови яких зображені на рис. 4.

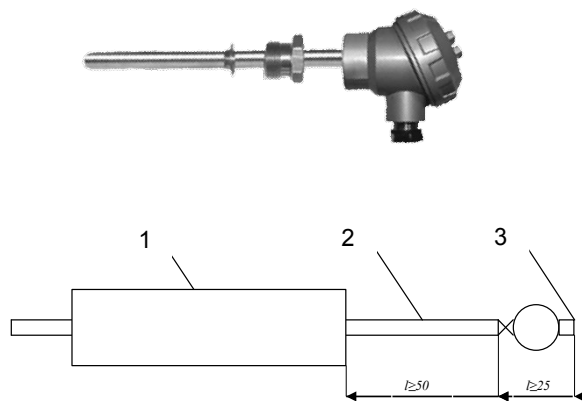


Рисунок 4 – Загальний вигляд та схема термопар для вимірювання температур у робочому просторі печі: 1 – теплозахисна оболонка; 2 – захисний кожух; 3 – вимірювальний спай.

Для вимірювання температури в печі використовувалися термопари ТХА-2388 з діаметром дроту 1,25 мм (рис. 4), які можна використовувати для вимірювання температури в діапазоні від 0 до 1300° С.

Для отримання цифрових значень температури в місцях установки термопари використовувався модуль аналого-цифрового перетворення (АЦП) сигналу термопари, даний модуль було спеціально розроблено в інституті, він дозволяє проводити вимірювання температури з чутливістю в 0,25° С. Модуль побудовано на базі мікросхеми max. 31855, яка дозволяє перетворювати аналоговий цифровий сигнал термопар в цифровий з максимальним значенням температури до 1350° С. Даний модуль враховує температуру холодних спайів та автоматично вносить поправки до значень вимірювання температури.

Всі аналогово-цифрові перетворювачі сигналу термопар та термісторів розміщувались в блоці комбінованого обчислення температур (рис. 5.).

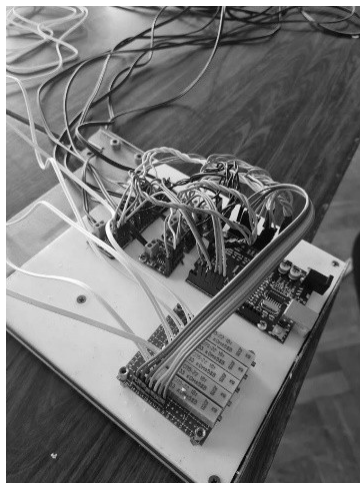


Рисунок 5 – Блок комбінованого обчислення температур.

Для обробки отриманих даних використовувався плагін PLX DAQ для Microsoft Excel, який дозволяє в режимі реального часу бачити числові значення температури та будувати відповідні графіки.

Всі використані засоби вимірювальної техніки наведено в табл. 2.

Таблиця 2 – Засоби вимірювальної техніки

№ п/п	Найменування обладнання або приладу	Діапазон вимірювання	Похибка вимірювань
1	Термопара ТХА-2388 з модулем АЦП [9]	від -200 до +700 °С від +700 до +1350 °С	± 2,0 °С ± 4,0 °С

Аналіз температурного режиму у камері вогневої печі. На рис. 6 показано графік температурно-часової залежності нагрівання камери вогневої печі.

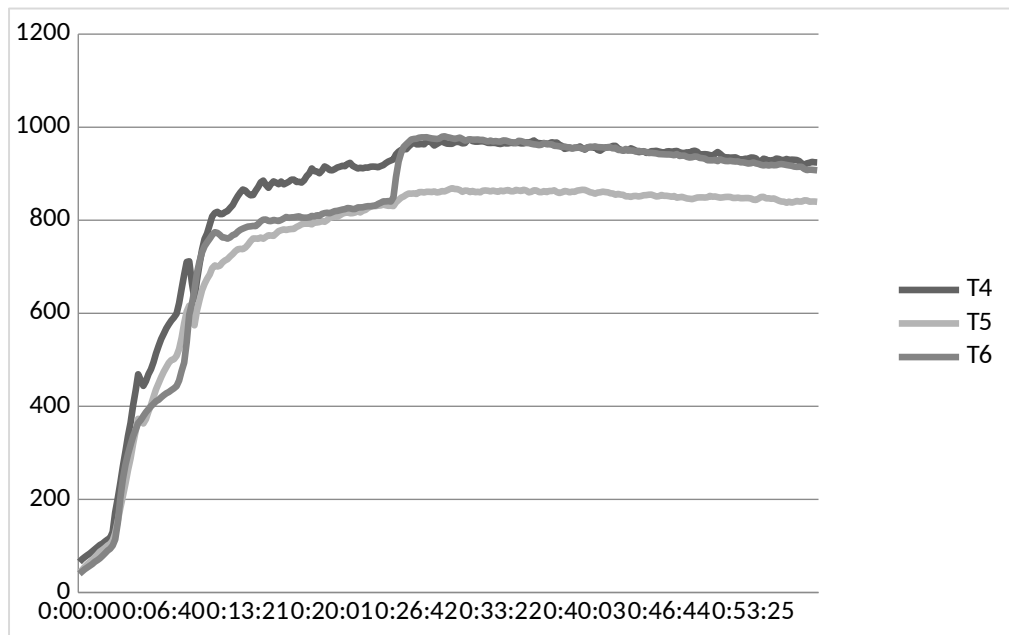


Рисунок 6 – Лінійна швидкість нагрівання камери печі: температурно-часова залежність в камері вогневої печі: T4 – датчик температури, який розміщено ближче до отвору для виходу продуктів горіння, T5 – датчик температури, який розміщено ближче до встановленої вертикальної знімної кришки; T6- датчик температури, який встановлено в паралельній стінці до датчиків T4 та T5.

Лінійна швидкість нагрівання камери печі склала 35 °C/хв. При досягненні значення 975° C було встановлено стаціонарний режим за допомогою регулювання потужності нагріву печі. Випробування тривало 60 хвилин (див. рис. 6).

Під час проведення випробування температура в печі відповідала вимогам, що регламентовані стандартом.

Аналізуючи показники термопар в процесі проведення вогневого випробування, стало можливим констатувати наступне:

- максимальна температура в досліджуваному приміщенні на 9 хв становила 630 °C, а середня температура в цей момент часу складала 600 °C впродовж 15 хвилин вона була стабільною;
- з 24 хвилини від початку пожежі було збільшено потужність пальників, внаслідок цього температура зростає до 975 °C і була стабільною впродовж 10 хвилин;
- вогневе випробування та зростання температур у камері печі відповідало зростанню температур при використанні стандартної температурної кривої пожежі [7].

Висновки. Проведене дослідження показало, що експеримент щодо визначення температур у контрольних точках камери вогневої печі, проведений відповідності до вимог стандартів щодо проведення випробувань несучих стін на вогнестійкість. Результати, що отримані при проведенні випробувань є достовірними.

За результатами даної роботи встановлено наступне:

1. Прототип вогневої печі, яка побудована розміром 1м×1м×1м, для визначення вогнестійкості вертикальних несучих будівельних конструкцій, дає можливість проводити вогневі випробування у відповідності до стандартного температурного режиму.

2. Описано етапи будівництва вогневої печі з факельним горінням та показано особливості створення прототипу компактною установки для випробувань залізобетонних та сталезалізобетонних будівельних конструкцій в умовах теплового впливу пожежі.

3. Відповідно до проведеного експериментального випробування, у камері вогневої печі відбувається рівномірний розподіл температур по всій площі печі, максимальна температура в печі досягнула 975 °C, що відповідає мінімально можливій температурі проведення випробувань на 80 хвилині, відповідно до вимог [7].

4. Враховуючи викладене в роботі та висновках 1-3, прототип описаної установки доцільно застосувати для проведення випробувань на вогнестійкість залізобетонних будівельних конструкцій, проте лише як елемент експериментально-розрахункового методу. Розробка методу є перспективою подальших досліджень даної роботи.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. ДСТУ ISO/IEC 17025: 2006 Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій.
2. Бартеlemi Б., Крюппа Ж. Огнестойкость строительных конструкций. - М.: Стройиздат, 1985. - 216с
3. Милованов А.Ф. Стойкость железобетонных конструкций при пожаре. –М.: Стройиздат, 1998. – 304с.
4. Романенков И.Г., Зигерн-Корн В.Н. Огнестойкость строительных конструкций из эффективных материалов. – М.: Стройиздат, 1984. – [1], 241с., ил.; 20см.].
5. Веселівський, Р Б.; Половко, А. П.; Василенко, О. О. Експериментальне дослідження вогнестійкості огорожувальних конструкцій з фібролітовими плитами. Пожежна безпека, 2013, 23: 33-38.
6. Піч для теплофізичних випробувань малогабаритних фрагментів будівельних конструкцій та окремих вузлів їх стикових з'єднань. Пат. 17160 Україна, МПК(2006) F23M5/00. / Б. Г. Демчина, В. С. Фіцик, А. П. Половко, А. Б. Пелех // заявл. 20.03.2006р., опубл. 15.09.2006. – Бюл. № 9.
7. ДСТУ Б В.1.1-4-98*. Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги.
8. Згуря В.І. Удосконалення системи визначення пожежонебезпечних властивостей речовин, матеріалів та будівельних конструкцій: Автореф. дисерт. ... канд. техн. наук / В. І. Згуря . – Київ: УкрНДІПБ МНС України, 2007. – 25 с.
9. MAX31855 Cold-Junction Compensated Thermocouple-to-Digital Converter . Режим доступу: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX31855.pdf>

REFERENCES

1. DSTU ISO/IEC 17025: 2006 Zahalni vymohy do kompetentnosti vyprobuvalnykh ta kalibruvalnykh laboratorii.
2. Bartelemy B., Kryuppa Zh. Ognestoykost stroitelnykh konstruksiy. - M.: Stroyizdat, 1985. -216s
3. Milovanov A.F. Stoykost zhelezobetonnykh konstruksiy pri pozhare. –M.: Stroyizdat, 1998. – 304s.
4. Romanenkov I.G., Zigern-Korn V.N. Ognestoykost stroitelnykh konstruksiy iz effektivnykh materialov. – M.: Stroyizdat, 1984. – [1], 241s., il.; 20sm.].
5. Veselivskiy, R B.; Polovko, A. P.; Vasylenko, O. O. Eksperymentalne doslidzhennia vohnestiikosti ohorodzhivalnykh konstruksii z fibrolitovymy plytamy. Pozhezhna bezpeka, 2013, 23: 33-38.
6. Pich dlia teplofizychnykh vyprobuvan malohabarytnykh frahmentiv budivelnykh konstruksii ta okremykh vuzliv yikh stykovykh ziednan. Pat. 17160 Ukraina, MPK(2006) F23M5/00. / B. H. Demchyna, V. S. Fitsyk, A. P. Polovko, A. B. Pelekh // zaiavl. 20.03.2006r., opubl. 15.09.2006. – Biul. № 9.
7. DSTU B V.1.1-4-98*. Zakhyst vid pozhezhi. Budivelni konstruksii. Metody vyprobuvan na vohnestiikist. Zahalni vymohy.
8. Zghuria V.I. Udoskonalennia systemy vyznachennia pozhezhonebezpechnykh vlastyvostei rechovyn, materialiv ta budivelnykh konstruksii: Avtoref. dysert. ... kand. tekhn. nauk / V. I. Zghuria . – Kyiv: UkrNDIPB MNS Ukrainy, 2007. – 25 s.
9. MAX31855 Cold-Junction Compensated Thermocouple-to-Digital Converter . Режим доступу: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX31855.pdf>

Alina Perehin,

Oleksandr Nuianzin, PhD in technical sciences, docent,

Cherkasy Institute of Fire Safety named after Chornobyl Heroes of NUCD of Ukraine

STAGES OF CREATING A PROTOTYPE OF A FIRE INSTALLATION FOR DETERMINATION OF TEMPERATURE DISTRIBUTIONS OF SMALL FIGURES OF REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

Building structures play an important role in ensuring fire protection of buildings, so the determination of fire resistance of building structures is a topical issue. There are errors in both experimental and calculation methods for determining fire resistance, respectively, the improvement of methods and tools is an appropriate issue. According to the results of this work, the following was established: the purpose of the work was to create a prototype of a small fire installation and analyze the results of test launches, including temperature distributions in the fire furnace chamber and the possibility of achieving a "standard" fire temperature mode.

We considered and analyzed literature sources in which the basic requirements of methods of tests on fire resistance of building constructions are specified and on the basis of which the prototype of the compact fire installation for research of fire resistance of vertical bearing building constructions was created. The method of conducting an experimental study to determine the fire resistance of vertical load-bearing building structures is revealed. The distribution of temperatures over the entire area of the fire furnace was checked and the obtained results were analyzed. The created prototype of the fire furnace gives the chance to define experimentally fire resistance of vertical bearing building designs..

After analyzing the results of the experiment, it became possible to claim that this method of testing building structures for fire resistance allows to reproduce the standard temperature in the furnace chamber.

Key words: *fire furnace, tests, temperature, experimental method, fire resistance, small fragment, thermocouple, thermistor, analog-to-digital conversion module, reinforced concrete wall.*