

ISSN

INSTITUTE OF PUBLIC ADMINISTRATION
AND RESEARCH IN CIVIL PROTECTION

Civil security:
Public administration &
Crisis management

Цивільна безпека:
Державне управління
та кризовий менеджмент

2022

№1



Цивільна безпека: Державне управління та кризовий менеджмент

№ 1 2022

Civil security: Public administration & crisis management

Заснований у 2021 році
Виходить 1 раз на рік
(з 2022 р.)

Засновник *Інститут державного управління
та наукових досліджень з цивільного захисту (ІДУ НД ЦЗ)*

Видавець *Інститут державного управління
та наукових досліджень з цивільного захисту (ІДУ НД ЦЗ)*

*Журнал зареєстровано у Мін'юсті України
Серія КВ № 24848-14788 Р від 30.04.2021 р.*

*Рекомендовано до видання рішенням Вченої ради ІДУ НД ЦЗ
(Протокол від 27.06.2022 р. № 7)*

У разі передрукування матеріалів письмовий дозвіл ІДУНД ЦЗ є обов'язковим

Адреса редакції:

вул. Вишгородська, 21, м. Київ, 04074

Тел.: +38 (044) 430-02-85

Website: <http://sbcs.idundcz.dsns.gov.ua>

E-mail: niv1966@ukr.net

© автори статей, 2022

© Інститут державного управління та наукових
досліджень з цивільного захисту, 2022

Редакційна колегія

д-р наук держ. упр., проф.

д-р військ. наук, проф.

д-р пед. наук, доц.

д-р техн. наук, с.н.с.

д-р психол. наук, доц.

д-р наук держ. упр., проф.

д-р наук держ. упр., с.н.с.

д-р пед. наук, проф.

д-р наук держ. упр., проф.

д-р мед. наук, проф.

д-р наук держ. упр., проф.

д-р техн. наук, с.н.с.

д-р техн. наук., проф.

д-р екон. наук, проф.

д-р техн. наук, проф.

чл.-кор. НАН України, д-р техн. наук, проф.

д-р техн. наук, доц.

д-р техн. наук, доц.

д-р габіліт. (техн. наук)

д-р пед. наук, проф.

д-р наук держ. упр., проф.

д-р техн. наук, доц.

д-р наук держ. упр., доц.

канд. пед. наук

канд. пед. наук, доц.

канд. психол. наук

д-р філософії (пожежна безпека)

канд. наук держ. упр.

канд. мед. наук, с.н.с.

канд. пед. наук, с.н.с.

канд. психол. наук, доц.

канд. наук держ. упр., доц.

канд. техн. наук, доц.

канд. наук держ. упр.,

канд. психол. наук, доц.

канд. мед. наук, проф.

канд. пед. наук, доц.

Анна ТЕРЕНТ'ЄВА
(головний редактор)

Сергій МОСОВ
(співредактор)

Наталія КУЛАЛАЄВА
(співредактор)

Вадим НІЖНИК
(співредактор)

Сергій МИРОНЕЦЬ
(співредактор)

Микола АНДРІЄНКО
Ксенія БЕЛКОВА
Григорій ВАСЯНОВИЧ
Петро ГАМАН
Сергій ГУР'ЄВ
Олександр ДОЛГІЙ
Леонід ЗАПОЛЬСЬКИЙ
Василь КОВАЛИШИН
Лешек Фредерік КОЖЕНОВСЬКІ
(Польща)

Олег МИРОШНИК
Михайло ПОПОВ
Андрій ПРУСЬКИЙ
Сергій ЄРЕМЕНКО
Віолетта РОГУЛЕ-КОЗЛОВСЬКА
(Польща)

Анна РОМАНОВА
Ольга САЛЬНИКОВА
Володимир СИДОРЕНКО
Олександр ТВЕРДОХЛІБ
Наталія БІЛОУСОВА
Неля ВОВК
Олена ДИШКАНТ
Томаш ЗВЕГЛІНСЬКИЙ (Польща)

Оксана ІНОЗЕМЦЕВА
Віталій КУШНІР
Євген ЛИТВИНОВСЬКИЙ
Олександр МАКАРЕВИЧ
Віктор МИХАЙЛОВ
Олександр НУЯНЗІН
Андрій РОГУЛЯ
Олег ХАЙРУЛІН
Батир ХАЛМУРАДОВ
Катерина ШИХНЕНКО

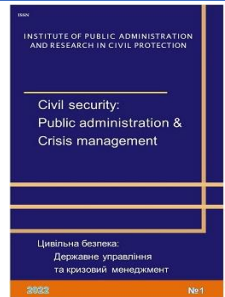
Зміст

Contents

РОЗДІЛ. ТЕХНОГЕННА ТА ПОЖЕЖНА БЕЗПЕКА

- М. Куценко, Г. Єлагін, А. Алексєєв, О. Алексєєва
Економічний ефект застосування засобів на основі вогнегасних солей, іммобілізованих пористим носієм, для гасіння пожеж горючих рідин 6
M. Kutsenko, G. Yelagin, A. Alekseev, E. Alekseeva
Economic effect of application of facilities is on basis of fire-extinguisher salts, by immobilized porous transmitter, for extinguishing of fires of combustible liquids
- А. Перегін, О. Нуянзін, Д. Кришталь, М. Кришталь
Аналіз результатів прогрівання малогабаритного фрагмента залізобетонної стіни під час експериментальних досліджень 19
A. Perehin, O. Nuianzin, D. Kryshtal, M. Kryshtal
The analysis of the results of heating a small fragment of a reinforced concrete wall during experimental research
- М. Попов, С. Станкевич, С. Мосов
Виявлення наземних мін із використанням комплексу датчиків повітряного моніторингу оптичного діапазону 37
M. Popov, S. Stankevich, S. Mosov
Landmines detection using a set of optical airborne sensors
- Т. Скоробагатько, О. Слуцька, С. Єременко, А. Пруський
Положення проєкту національного стандарту щодо поводження з піноутворювачами для гасіння пожеж 56
T. Skorobagatko, O. Slutska, S. Yeremenko, A. Pruskyi
Provisions of the draft national standard on handling foam concentrates for fire-fighting

Civil Security: Public Administration and crisis management



journal homepage: sbc.s.idundcz.dsns.gov.ua

УДК 614.841.415

Перегін Аліна

alinayanish23@gmail.com

ORCID iD 0000-0003-2062-5537

Нуянзін Олександр

alexandrnuyanzin@gmail.com

ORCID iD 0000-0003-2527-6073

Кришталь Дмитро

kryshtal.d@ukr.net

ORCID iD 0000-0003-3254-4574

Кришталь Микола

kryshtal_mykola@chipb.org.in

ORCID iD 0000-0003-0701-4731

АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ПРОГРІВАННЯ МАЛОГАБАРИТНОГО ФРАГМЕНТА ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ СТІНИ ПІД ЧАС ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ

DOI:10.33269/sbc.s.2022.1.19-36

Анотація. Досліджено відомі методи проведення випробувань на визначення вогнестійкості залізобетонних будівельних конструкцій в умовах пожежі. Визначено структуру бетону, на основі якої створено три малогабаритні фрагменти залізобетонної стіни. Описано методику проведення вогневого випробування у компактній вогневій установці без дії механічного навантаження. У камері вогневої печі температурний режим було досягнуто за допомогою двох пальників. Для вимірювання температури у печі використовувалися термопари типу ТХА-2388 та термістор MF 52 з діапазоном вимірювання температури від -30 до 300 °C з чутливістю 0,25 °C. Для зняття цифрових значень температури в місцях встановлення засобів вимірювальної техніки використовувався спеціальний технічний засіб, модуль аналого-цифрового перетворення (АЦП) сигналу термопар та термісторів.

Перевірено розподіл температур на всій площі вогневої печі та досліджуваного фрагмента. З'ясовано, що: прогрів конструкції на всіх рівнях був рівномірним у площинах розміщення термопар; отриманих експериментальних даних достатньо для здійснення подальшого розрахунку температурних полів всередині конструкції та оцінки вогнестійкості конструкцій; температура, отримана в результаті проведення вогневого випробування, відповідає стандартному температурному режиму пожежі; вказаний метод щодо визначення температурних розподілів малогабаритного фрагмента несучої стіни є допустимим для використання в умовах пожежі. Також проведено перевірку адекватності експериментальних даних, отриманих унаслідок вогневих випробувань. Відносне відхилення – не перевищило 3%, а розраховані критерії адекватності (F-критерій Фішера) – нижчі за критичне значення, що підтверджує адекватність експериментальних даних.

Ключові слова: спосіб; випробування; критерій Фішера; відтворюваність експериментальних даних

Вступ. Під час обвалення будь-якого виду залізобетонних конструкцій внаслідок їх руйнування у разі пожеж збитки можуть бути значними. Це пов'язано з можливими людськими жертвами, пошкодженням майна та цінностей, знищенням конструкцій будівель та споруд. Таким чином, забезпечення необхідної межі вогнестійкості не є самоціллю. Вимоги до неї формуються залежно від типу об'єкта, кількості людей, які на ньому перебувають, особливостей технологічних процесів тощо.

Оскільки, з погляду Держави (Конституція України, 1996), найвищою цінністю є людське життя, то й вимоги до межі вогнестійкості формують насамперед для забезпечення евакуації. Іншими цілями є надання можливості рятувальним підрозділам провести пошуково-рятувальні роботи та зберегти матеріальні цінності.

Серед основних причин, що призводять до руйнування будівель і споруд під час пожежі, – відкрите полум'я та дія високих температур, які зумовлюють швидке прогрівання будівельних конструкцій. Відповідно до ДСТУ Б В.1.1-4-98* ступінь вогнестійкості будинку визначається межами вогнестійкості його будівельних конструкцій та межами поширення вогню цими конструкціями. Для попередження поширення вогню між приміщеннями передбачається встановлення різноманітних протипожежних перешкод. Нехтування проблемами вогнестійкості будівельних конструкцій, протипожежних перешкод та інженерних комунікацій може призвести до загибелі людей та завдати значних економічних збитків.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Нині в Україні чинні нормативні документи щодо оцінки вогнестійкості стін, зокрема ДСТУ Б В.1.1-4-98*; ДБН В.1.1-7-2016; ДСТУ Б В.1.1-19:2007. Аналізуючи вказані вище документи, дійшли висновку: можна

проводити випробування без навантаження зразків будівельних конструкцій з вогнезахисним покриттям та облицюванням, а також залізобетонних конструкцій, для яких неможливо під час випробувань відтворити умови навантаження в лабораторії за розрахунковою схемою через технічні причини. У стандартах зазначено про відповідність зразків будівельних конструкцій проектним розмірам будівельної конструкції, а також можливість досліджувати фрагменти зразків. Випробування неуніфікованих та великогабаритних конструкцій є проблематичним, тому що це потребує значних фінансових вкладень та працевитрат і, крім того, є неекологічним. З огляду на це запропоновано ідею проведення експерименту з нагрівання малогабаритного елемента залізобетонної конструкції у прототипі компактної вогневої установки за стандартним температурним режимом пожежі (з верифікацією експериментальних даних) та подальшим розрахунком, що дає змогу піддавати температурним навантаженням малогабаритні фрагменти та враховувати зміни міцності на етапі розрахунку.

У роботах (Веселівський, 2013, с. 33–38; Демчина, 2006, с. 1–10) за допомогою печі для теплофізичних випробувань малогабаритних фрагментів будівельних конструкцій та окремих вузлів їх стикових з'єднань було досліджено в процесі нагрівання зміну температури по товщині стінової конструкції, а також встановлено межі вогнестійкості за ознакою втрати теплоізолювальної здатності. Проте згідно з конструкцією печі передбачається використання лише одного пальника для нагрівання камери, що може впливати на рівномірність прогріву досліджуваних конструкцій. Крім того, ця піч може бути застосована лише для випробування стін та працює на рідкому паливі. Це своєю чергою свідчить про недосконалість конструкції.

На думку дослідників (Бартеlemi, 1985; Мілованов, 1998; Романенков, 1984), обов'язковим є проведення вогневих випробувань, оскільки лише так можливо врахувати особливості виготовлених конструкцій. Наприклад, використання річкового чи морського піску, якість та розміри крупного заповнювача тощо можуть вплинути на кінцевий результат межі вогнестійкості. Водночас у вказаних роботах зазначається, що різниця температур в 100 °C і більше в печі під час випробувань однорідних зразків будівельної конструкції призводить до встановлення різних меж їх вогнестійкості (різниця може бути в десятки хвилин). Зважаючи на це, не можна гарантувати відповідність необхідному ступеню вогнестійкості. Ці роботи дещо застаріли. В них не враховується актуальність методів розрахунку, але береться до уваги доцільність удосконалення саме вогневих випробувань.

Отже, ця робота є продовженням попередньої (Переґін, 2021), в якій описано прототип установки для випробування малогабаритних будівельних конструкцій, а також робіт (Нуянзін, 2020; Нуянзін, 2019), в яких продемонстровано необхідність забезпечення рівномірності прогріву конструкції під час випробувань на вогнестійкість. У цій праці наведено та проаналізовано результати експериментів з нагрівання малогабаритного елемента залізобетонної конструкції у прототипі компактної вогневої установки за стандартним температурним режимом пожежі.

Мета статті. У цій статті описано методику проведення експериментів з нагрівання малогабаритного елемента залізобетонних конструкцій для прогнозування зміни їх властивостей в умовах пожежі та аналіз результатів температурних розподілів і міцнісних характеристик матеріалу в перерізі залізобетонної стіни.

Для досягнення мети поставлено завдання:

1. Описати етапи створення малогабаритних фрагментів залізобетонної стіни для проведення вогневих випробувань.
2. Описати методику та засоби проведення експериментального випробування.
3. Проаналізувати температурний режим на поверхні та точках інтегрування у перерізах фрагментів залізобетонних стін.
4. Провести верифікацію експериментальних даних, отриманих під час проведення вогневого випробування.
5. Визначити перспективи подальших досліджень.

Методи дослідження. Для проведення експерименту було використано прототип компактної вогневої установки (Переґін, 2021, с. 37–43).

Фрагмент залізобетонної стіни являв собою просторову конструкцію. Армування конструкцій стін, а також матеріали, які застосовувалися, – бетон та арматура, відповідали використовуваним під час будівництва житлових будинків із монолітного залізобетону. За допомогою стандартної розбірної опалубки було виготовлено фрагмент стіни для дослідження.

На рис. 1 наведено фото заздалегідь підготовленого фрагмента, зразка № 1, для проведення експерименту з нагрівання малогабаритного елемента залізобетонної конструкції.



а



б

Рисунок 1 – Малогабаритний фрагмент залізобетонної стіни, виготовленої заздалегідь до експерименту: а – транспортування фрагмента; б – фрагмент стіни установлений на місці експерименту до початку випробування; 1 – стіни вогневої печі; 2 – фрагмент залізобетонної стіни для експерименту

Як видно з рис. 1, зразки зберігались у закритому приміщенні, потім транспортувались до місця проведення експерименту та встановлювались у вогневу піч.

Малогабаритний фрагмент залізобетонної стіни виготовлявся заздалегідь до випробування у кількості три штуки.

Фрагмент виготовлявся за такими пропорціями, на 1 м³: портландцемент марки «500» – 460 ± 10 кг; пісок кварцовий – 660 ± 10 кг; щебінь гранітний – 1150 ± 10 кг; вода.

Армування відповідало фактично використовуваним під час будівництва конструкцій стін сучасних житлових будинків із монолітного залізобетону. Арматура – в основному дріт класу Вр-І діаметром 5 мм.

Для вивчення впливу структури бетону на теплофізичні параметри виготовлялося три групи по одному зразку з різними водоцементними співвідношеннями. Вода / цемент = 0,3 × (вода – 138 ± 10 кг); з однаковими фракціями гранітного заповнювача (щебеню) – 10–20 мм.

Дозування складових виконано за допомогою вагових дозаторів заводського БСУ. Перемішування бетонної суміші виконано у бетономішалці вільного падіння об'ємом 0,75 м³. Ущільнення бетонної суміші виконано глибинними вібраторами.

Виготовлення конструкції здійснювалося за допомогою стандартної розбірної опалубки.

Зразки знаходилися в опалубці впродовж семи діб. Після розпалубки фрагмент зберігався протягом 28 діб.

Після 28-ми добової витримки фрагмент зберігався в нормальних умовах температури і вологості до початку експерименту.

Методика проведення експериментів із нагрівання малогабаритного елемента залізобетонної конструкції в прототипі компактною вогневою установкою без механічного навантаження полягає у впливі стандартного температурного режиму пожежі під час нагрівання елемента залізобетонної стіни з одного боку. На основі цього розрахунковим шляхом можна буде оцінити межу вогнестійкості будівельної конструкції, яка відповідатиме її реальним розмірам.

Зазначене дослідження проведено на базі Навчального комплексу практичної підготовки фахівців Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України.

До початку експерименту фіксується дата проведення та температура повітря навколишнього середовища. Перед початком заміряються габаритні розміри зразка, його товщина та фіксуються встановлені дані.

Зовнішні умови: дата проведення експерименту: 05.08.2021;
температура повітря: 26°C; вологість повітря: 58%.

Було виготовлено три зразки, їх габаритні розміри: 1193 × 1195 мм; 1198 × 1194 мм; 1201 × 1199 мм.

Зразок для експерименту закріплюється в передній частині установки. Верхня її частина закривається кришкою. Для щільності прилягання використано мінеральну вату та вапняний шнур. На рис. 2 наведено схему встановлення малогабаритного зразка залізобетонної стіни.

Під час проведення експерименту з нагрівання стін використовуються два пальники. Вони розміщуються зверху та знизу дальньої частини установки так, щоб факели полум'я не були в контакті один з одним і знаходились у 80 см до випробувального зразка (рис. 3). Під час проведення експерименту з нагрівання стін, місця для пальників, які не використовуються, було закладено цеглою та мінеральною ватою для недопущення виходу пічних газів через ці отвори.

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

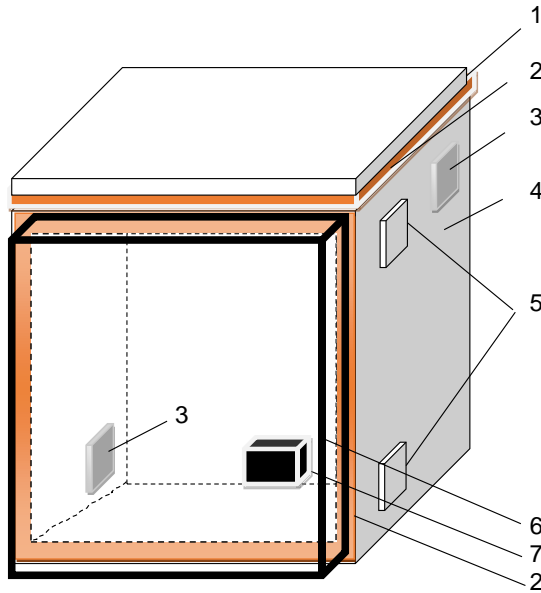


Рисунок 2 – Схема встановлення зразка для експерименту: 1 – кришка, що закриває верхню частину установки; 2 – ущільнювач з мінеральної вати та вапняного шнура; 3 – пальники, що створюють температурний режим у камері печі; 4 – огороження печі; 5 – місця для пальників, що не використовуються під час експерименту; 6 – зразок, що досліджується; 7 – отвір для виходу продуктів горіння

До початку експерименту встановлено термомпари та терморезистори у просторі камери вогневої печі та на досліджуваному зразку: в камері вогневої печі знаходиться три термомпари типу ТХА для контролю температурного режиму та забезпечення його відповідності стандартному; на обігрівальній поверхні зразка – три термомпари типу ТХА; на необігрівальній поверхні – два терморезистори та на рівні арматури – три терморезистори з діапазоном замірювання 5 – 300 °С.

На схемі (рис. 3) показані точки розташування термомпар та терморезисторів у проєкційному зв'язку з урахуванням їх видимості на проєкціях.

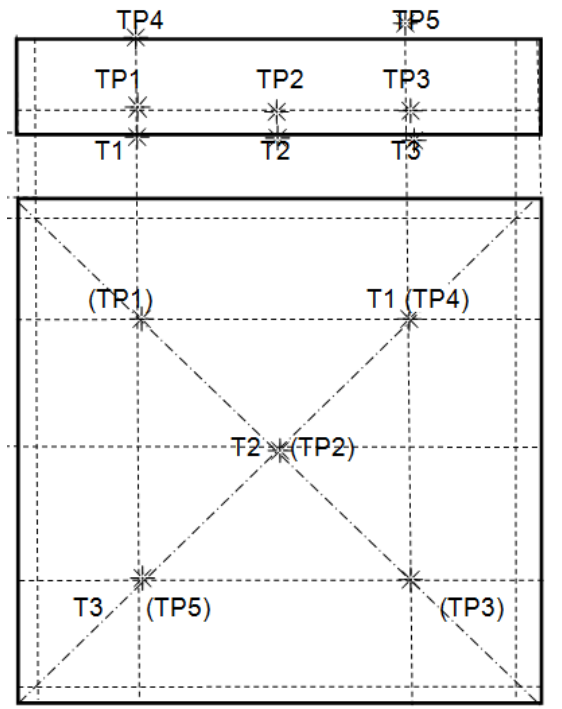


Рисунок 3 – Схема розташування засобів вимірювальної техніки у перерізі залізобетонної стіни – зразка для експерименту

На схемі наведено засоби вимірювальної техніки, які було встановлено до початку експерименту та пронумеровано таким чином: на обігрівній поверхні зразка встановлені термомпари Т1–Т3; на рівні арматури терморезистори: ТР1–ТР3; на необігрівній поверхні (0,03 м від поверхні) терморезистори – ТР4–ТР5.

Засоби вимірювальної техніки, які використовувалися під час експерименту з нагрівання малогабаритного елемента наведено в табл. 1.

Для вимірювання температури в печі використовувалися термомпари ТХА-2388 з діаметром дроту 1,25 мм, який можна застосовувати для вимірювання температури в діапазоні від 0 до 1300 °С.

Для вимірювання температури в досліджуваному зразку використовувався термістор MF 52, який можна застосовувати для вимірювання температури в діапазоні від -30 до 300°С.

Таблиця 1 – Засоби вимірювальної техніки

№ п/п	Найменування обладнання або приладу	Діапазон вимірювання	Похибка вимірювань
1	Термопара ТХА-2388 з модулем АЦП (Cold-Junction Compensated Thermocouple-to-Digital Converter)	від -200 до +700 °С від +700 до +1350°С	$\pm 2,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$ $\pm 4,0 \text{ }^{\circ}\text{C}$
2	Терморезистор	від +5 до +300°С	$\pm 1,0 \%$
3	Лінійка вимірювальна	від 0 мм до 1000 мм	$\pm 1 \text{ мм}$
4	Секундомір СОС пр-26-2-000	від 0 с до 60 с, від 0 с до 60 хв	$\pm \left(\frac{0,4}{60} \tau \right) \pm \left(0,4 + \frac{1,5}{3540} (\tau - 60) \right)$
5	Психрометр аспіраційний МВ-4М	від 10 % до 100 % від – 10°С до 50°С	$\pm 4 \%$ $\pm 0,2 \text{ }^{\circ}\text{C}$
6	Штангенциркуль ШЦ-1	від 0 мм до 125 мм	$\pm 0,1 \text{ мм}$
7	Барометр-анероїд М67	600 - 800 мм рт. ст.	$\pm 1 \text{ мм рт. ст.}$
8	Анемометр АСО-3	від 0,3 м/с до 5 м/с	$\pm (0,1+0,05V) \text{ м/с}$

Для зняття цифрових значень температури в місцях встановлення засобів вимірювальної техніки використовувався спеціальний технічний засіб, а саме: модуль аналого-цифрового перетворення (АЦП) сигналу термопар та термісторів. Цей

вимірювальний засіб спеціально розроблено в інституті, він дає змогу проводити вимірювання температури з чутливістю в 0,25°C. Модуль побудовано на базі мікросхеми max. 31 855, він враховує температуру холодних спаїв та автоматично вносить поправки до значень вимірювання температури.

Всі аналого-цифрові перетворювачі сигналу датчиків контролю температури розміщувались у блоці комбінованого обчислення температур.

Також для контролю в режимі реального часу числових значень температури та побудови відповідних графіків використовувався плагін PLX DAQ для Microsoft.

Результати дослідження. Під час проведення експерименту температура в печі відповідала вимогам, що регламентовані стандартом. Візуальним оглядом встановлено: втрат цілісності теплоізолювальної та несучої здатності зразка не відбулося, але на рис. 4 видно, що почалась його деструкція з виділенням вологи та пари, що знаходяться всередині.



Рисунок 4 – Малогабаритний фрагмент залізобетонної стіни після проведення експерименту

На рис. 5 наведено графік температурно-часової залежності нагрівання камери вогневої печі.

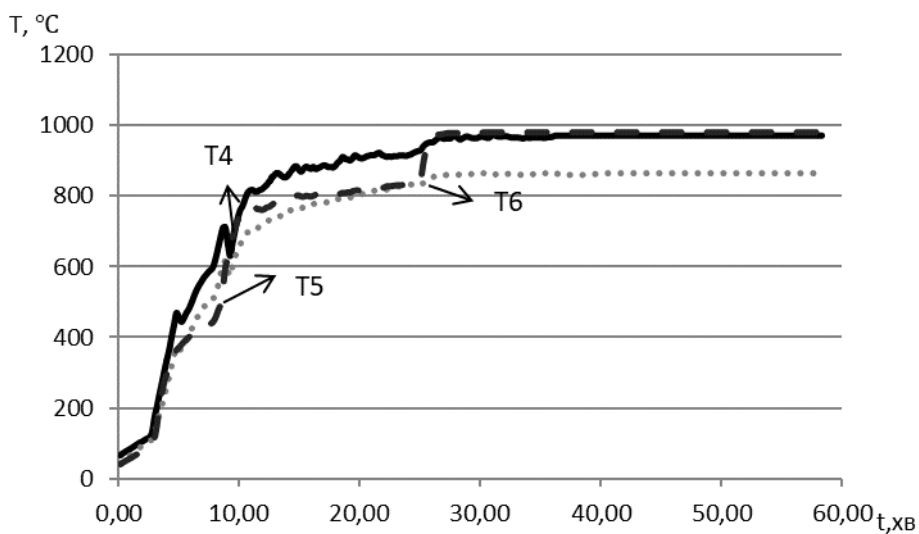


Рисунок 5 – Лінійна швидкість нагрівання камери печі під час експерименту залізобетонної стіни, де: T4–T6 термопар, встановлені у стінах вогневої печі

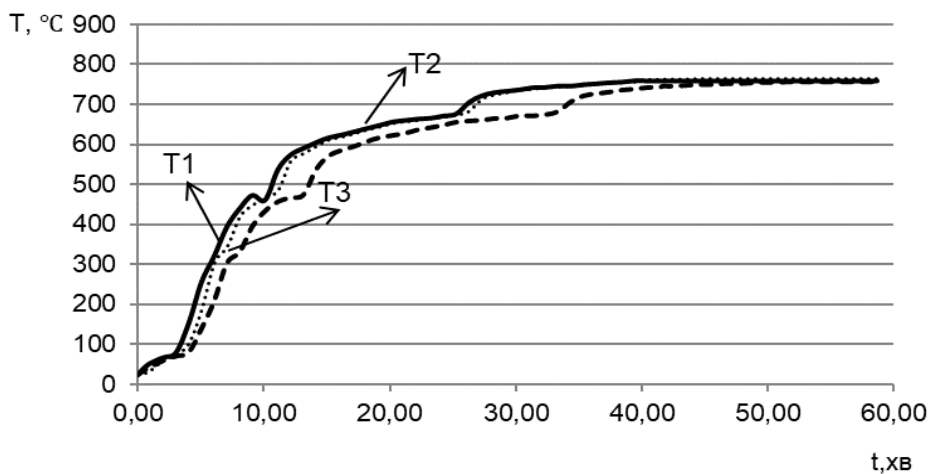


Рисунок 6 – Результати вимірювання температури досліджуваного зразка: T1–T3 – показники термопар, які встановлені на обігрівальній поверхні

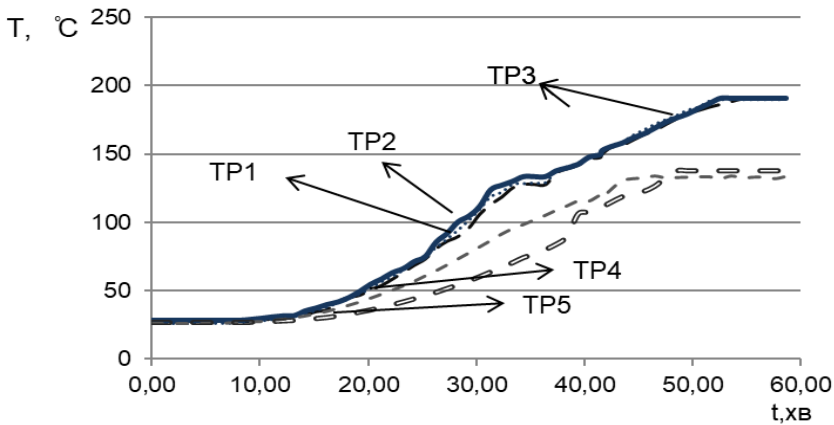


Рисунок 7 – Результати показів терморезисторів у фрагменті досліджуваного зразка: TP1–TP3 – показники терморезисторів, встановлених на рівні арматури, TP4–TP5 – значення терморезисторів, встановлених на необігрівальній поверхні.

За даними прогріву термопар (рис. 5), лінійна швидкість нагрівання камери печі відповідала «стандартній» температурній кривій пожежі та знаходилась у межах відповідно до стандарту (ДСТУ Б В.1.1-4-98*). Під час досягнення значення 980°C було встановлено стаціонарний режим за допомогою регулювання потужності нагріву печі. Експеримент тривав 60 хв. На рис. 6–7 відображено результати показів термопар на обігрівальній, необігрівальній поверхнях та на рівні арматури.

З огляду на аналіз даних за результатами експериментів було отримано такі висновки:

- два газові пальники здатні забезпечити відповідність «стандартному» температурному режиму у камері печі під час пожежі;
- під час нагрівання залізобетону спостерігалось виділення вологи та пари, що знаходяться всередині матеріалу: на обігрівальній поверхні цей процес відбувався з 15 до 25 хв, на необігрівальній з 35 до 57 хв (рис. 7) та на рівні арматури з 32 до 52 хв (рис. 7);
- прогрів конструкції на всіх рівнях був рівномірним у площинах розміщення термопар (рис. 6–7);
- максимальна температура на рівні арматури склала 190 °C, спостерігалась на останній хвилині експерименту та продовжувала лінійно зростати після виходу з плато;

- максимальна температура на необігрівальній поверхні склала 137 °С, спостерігалась на останній хвилині експерименту та продовжувала лінійно зростати після виходу з плато;

- отриманих експериментальних даних достатньо для проведення подальшого розрахунку температурних полів всередині конструкції та оцінки вогнестійкості конструкцій.

Для з'ясування того, наскільки експерименти здатні до відтворення результатів, необхідно отримати кількісні показники щодо адекватності проведених експериментів. Перевірка адекватності виконана на підставі отриманої інформації внаслідок експериментів з нагрівання малогабаритного елемента фрагментів будівельної конструкції, під час якого помітні процеси, які нас цікавлять (Поздєєв, 2017). У нашому випадку було проведено три експерименти за стандартним температурним режимом пожежі у прототипі вогневої установки ідентичних та одночасно виготовлених конструкцій за однакових зовнішніх умов.

Було розраховано відносну, абсолютну похибки експериментальних даних, а також F-критерій Фішера для послідовного порівняння дисперсій показів температури кожної термопари, що розташовані у конструкції з дисперсією відтворюваності експериментальних досліджень. За допомогою критерію Фішера можливо перевірити гіпотезу про рівність генеральних дисперсій, розподілу температур на кожній хвилині експерименту.

$$F = \frac{S_{xy}^2}{S_y^2} \quad (1)$$

де S_{xy}^2 – дисперсія адекватності, S_y^2 – дисперсія відтворюваності.

Дисперсія адекватності розрахована як відхилення між показами конкретної термопари й середнього значення температури у всіх трьох експериментах відповідного їй місця замірювання температури.

$$S_{xy}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{n} \quad (2)$$

де n – кількість замірів температури, y_i – значення критерію під час моделювання, x_i – значення критерію під час експерименту.

Дисперсія відтворюваності розрахована як відхилення температури конкретної термопари та середнього значення температури щодо всіх дослідів у місці її розташування з урахуванням похибки термопар (ДСТУ Б В.1.1-4-98*).

$$s_y^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y} + 1)^2 \quad (3)$$

де n – кількість замірів температури, $\bar{y} + 1$ – середні показники термопар з урахуванням похибки (таб. 1), y_i – показники термопари безпосередньо у місці заміру.

Таблиця 2 – Параметри дисперсії результатів трьох експериментів з нагрівання малогабаритного елемента залізобетонних стін

Зона термопари	Абсолютне середнє відхилення, °С	Відносне відхилення, %	F-критерій	Критичне значення F-крит.
T1	4,56	1,49	1,04	4,49
T2	4,91	1,41	1,13	
T3	4,84	1,66	1,01	
TP1	8,4	2,21	1,01	
TP2	8,7	1,95	1,32	
TP3	8,6	2,06	2,06	
TP4	8,6	2,31	1,02	
TP5	8,6	2,73	1,01	

Відповідно до табл. 2 відносне відхилення не перевищило 3%, а розраховані критерії адекватності (F-критерій Фішера) є нижчими за критичне значення, що підтверджує адекватність експериментальних даних.

Висновки. Проведений експеримент довів, що отримані результати можна застосовувати для перевірки адекватності отриманих експериментальних даних. Експеримент з нагрівання малогабаритного елемента залізобетонної конструкції у контрольних точках на обігрівальній, необігрівальній поверхнях та на рівні арматури стінових фрагментів виконаний відповідно до вимог стандартів щодо проведення випробувань несучих стін на вогнестійкість. Результати, що отримані під час експерименту, є достовірними.

За підсумками цієї роботи встановлено таке:

1. Описано етапи виготовлення та підготовки трьох малогабаритних фрагментів залізобетонної стіни з важкого бетону з армуванням розмірами: 1193 × 1195 мм; 1198 × 1194 мм; 1201 × 1199 мм. Їх було витримано у спеціальному приміщенні протягом не менше 28-ми діб до проведення експериментів та встановлено у прототип вогневої установки.

2. Описано методику проведення експерименту з нагрівання малогабаритних елементів залізобетонних стін. Експеримент у прототипі компактної вогневої установки без механічного навантаження полягав у односторонньому тепловому впливі стандартного температурного режиму пожежі на елемент залізобетонної стіни. Для контролю температури в камері печі та на обігрівальній поверхні стіни використовувалися термомари ТХА-2388 з діаметром дроту 1,25 мм (діапазон від 0 до 1300°C). Для замірів температури в досліджуваному зразку використовувався термістор MF 52 (діапазон від -30 до 300°C).

3. Відповідно до проведеного експерименту на обігрівальній поверхні досліджуваного малогабаритного фрагмента відбувався рівномірний розподіл температур, максимальна досягнута температура становила 765 °C, максимальна температура на рівні арматури склала 190°C, спостерігалась на останній хвилині експерименту та продовжувала лінійно зростати після виходу з плато; максимальна температура на необігрівальній поверхні склала 137°C, спостерігалась на останній хвилині експерименту та продовжувала лінійно зростати після виходу з плато.

4. Перевірено адекватність експериментальних даних: відносне відхилення не перевищило 3%, а розраховані критерії адекватності (F-критерій Фішера) є нижчими за критичне значення.

5. Враховуючи викладене в роботі та висновках 1–4, доцільно проводити експеримент з нагрівання малогабаритного елемента залізобетонної конструкції у прототипі компактної вогневої установки за стандартним температурним режимом з перевіркою адекватності експериментальних даних. Перспективою наукових розвідок є те, що вихідні дані експериментального дослідження є вхідними для подальшого розрахунку температурного поля в повномасштабній конструкції. Надалі стане можливим розв'язати задачу міцності та оцінити вогнестійкість залізобетонної конструкції заданих розмірів загалом та вдосконалити розрахунково-експериментальний метод оцінки вогнестійкості.

Список використаних джерел

- Конституція України (1996).
<http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/254%D0%BA/96-%D0%B2%D1%80>.
- Бартеlemi, Б., Крюппа, Ж. (1985). *Огнестойкость строительных конструкций*. Стройиздат.
- Веселівський, Р. Б.; Половко, А. П.; Василенко, О. О. (2013). Експериментальне дослідження вогнестійкості огорожувальних конструкцій з фібролітовими плитами. *Пожежна безпека*, 23, 33–38.
- Демчина, Б. Г., Фіцик, В. С., Половко, А. П., Пелех, А. Б. (2006). *Піч для теплофізичних випробувань малогабаритних фрагментів будівельних конструкцій та окремих вузлів їх стикових з'єднань*. (Патент. 17160) Україна.
- Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги. ДСТУ Б В.1.1-4-98* (1998). Держспоживстандарт України.
- Милованов, А. Ф. (1998). *Стойкость железобетонных конструкций при пожаре*. Стройиздат.
- Несучі стіни. Метод випробування на вогнестійкість. ДСТУ Б В.1.1-19: 2007 (2007). Держспоживстандарт України.
- Перегон, А. В., Нуянзин, А. М., Заика, Н. П., & Ведула, С. А. (2021). Методика создания прототипа компактной огневой установки для проведения испытаний на определение огнестойчивости железобетонных конструкций. *The Scientific Heritage*, (78-1), 37–43.
- Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. ДБН В.1.1-7-2016 (2016). Держспоживстандарт України.
- Романенков, И. Г., Зигерн-Корн, В. Н. (1984). *Огнестойкость строительных конструкций из эффективных материалов*. М.: Стройиздат.
- Cold-Junction Compensated Thermocouple-to-Digital Converter (MAX31855). <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX31855.pdf>.
- Nuianzin, O., Kryshchal, D., Zemlianskyi, O., Nesterenko, A., & Samchenko, T. (2020). Study of the Heat and Mass Transfer in Special Furnaces During Fire Resistance

Tests of Building Construction. *In International Scientific Conference on Woods & Fire Safety* pp. 179–184. Springer, Cham.

Nuianzin, O., Tyshchenko, O., Zhartovskyi, S., Zaika, P., & Peregin, A. (2019). The research of carrying capacity of reinforced concrete walls under uneven warming. *In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 708, no. 1, p. 012063. IOP Publishing.

Pozdieiev, S., Nuianzin, O., Sidnei, S., & Shchipets, S. (2017). Computational study of bearing walls fire resistance tests efficiency using different combustion furnaces configurations. *In MATEC web of conferences*, vol. 116, p. 02027. EDP Sciences.

References

Konstytutsiia Ukrainy (1996). Retrieved from: <http://zakon5.rada.gov.ua/laws/show/254%D0%BA/96-%D0%B2%D1%80>.

Bartelemi, B., Kryuppa, Zh. (1985). *Ognestoykost stroitelnykh konstruktsiy*. M.: Stroyizdat.

Veseliivskyi, R. B.; Polovko, A. P.; Vasylenko, O. O. (2013). Eksperymentalne doslidzhennia vohnestiikosti ohorodzhuvalnykh konstruktsii z fibrolitovymy plytamy. [Experimental research of enclosing constructions fire resistance with plasterboard panels] *Fire Safety*, 23, 33–38. [in Ukrainian].

Demchyna, B. H., Fitsyk, V. S., Polovko, A. P., Pelekh, A. B. (2006). Pich dlia teplofizychnykh vyprobuvan malohabarytnykh frahmentiv budivelnnykh konstruktsii ta okremykh vuzliv yikh stykovykh ziednan. [Furnace for thermophysical testing of small fragments of building structures and individual components of their butt joints]. Pat. 17160 Ukraina.

Zakhyst vid pozhezhi. Budivelni konstruktsii. Metody vyprobuvan na vohnestiikist. Zahalni vymohy. DSTU B V.1.1-4-98* (1998) [in Ukrainian].

Milovanov, A. F. (1998). *Stoykost zhelezobonnykh konstruktsiy pri pozhare*. M.: Stroyizdat. [in Russian].

Nesuchi stiny. Metod vyprobuvannia na vohnestiikist. (2007). *DSTU B V.1.1-19: 2007*. [in Ukrainian].

Peregon, A. V., Nuianzin, A. M., Zaika, N. P., & Vedula, S. A. (2021). Metodika sozdaniya prototipa kompaktnoy ognevoy ustanovki dlya provedeniya ispytaniy na opredelenie ogneustoychivosti zhelezobonnykh konstruktsiy. [Methodology for creating a prototype of a compact fire installation for conducting tests to determine the fire resistance of reinforced concrete structures. *The Scientific Heritage*, (78-1), 37–43. Doi: 10.24412/9215-0365-2021-78-1-37-43.

Pozhezha bezpeka obiektiv budivnytstva. Zahalni vymohy. DBN V.1.1-7-2016 (2016) [in Ukrainian].

Romanenkov, I.G., Zigern-Korn, V. N. (1984). *Ognestoykost stroitelnykh konstruktsiy iz effektivnykh materialov*. M.: Stroyizdat. [in Russian].

MAX31855 Cold-Junction Compensated Thermocouple-to-Digital Converter. Retrieved from: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX31855.pdf> [in English].

Nuianzin, O., Kryshtal, D., Zemlianskyi, O., Nesterenko, A., & Samchenko, T. (2020). Study of the Heat and Mass Transfer in Special Furnaces During Fire Resistance Tests of Building Construction. *In International Scientific Conference on Woods & Fire Safety*, pp. 179 – 184. Springer, Cham [in English].

Nuianzin, O., Tyshchenko, O., Zhartovskyi, S., Zaika, P., & Peregin, A. (2019). The research of carrying capacity of reinforced concrete walls under uneven warming.

In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, vol. 708, no. 1, p. 012063. IOP Publishing [in English].

Pozdieiev, S., Nuianzin, O., Sidnei, S., & Shchipets, S. (2017). Computational study of bearing walls fire resistance tests efficiency using different combustion furnaces configurations. In MATEC web of conferences, vol. 116, p. 02027. EDP Sciences [in English].

THE ANALYSIS OF THE RESULTS OF HEATING A SMALL FRAGMENT OF A REINFORCED CONCRETE WALL DURING EXPERIMENTAL RESEARCH

Perehin Alina, Nuianzin Oleksandr, Kryshstal Mykola, Kryshstal Dmytro

Abstract. This paper investigates the known methods of testing to determine fire resistance of reinforced concrete building structures in conditions of fire. To conduct a fire test, the structure of concrete was determined, on the basis of which 3 small fragments of a reinforced concrete wall were created. The method of conducting a fire test in a compact fire installation without the action of mechanical load is described. In the chamber of the fire furnace the temperature regime was reached by means of 2 burners. Thermocouples of type THA-2388 and thermistor MF 52 with a temperature measurement range from -30 to 300 °C with a sensitivity of 0.25 °C were used to measure the temperature in the furnace. To capture digital values of temperature in the places of installation of measuring equipment used a special technical means, the module of analog-to-digital conversion (ADC) of the signal of thermocouples and thermistors. The distribution of temperatures over the entire area of the fire furnace and the studied fragment was checked. According to the results of this work, it was found that: heating of the structure at all levels was uniform in the planes of thermocouples; the obtained experimental data are sufficient for further calculation of temperature fields inside the structure and assessment of fire resistance of structures; the temperature obtained as a result of the fire test corresponds to the standard temperature of the fire, this method for determining the temperature distributions of a small fragment of the load-bearing wall is acceptable for use in fire conditions. Also in this work, the adequacy of experimental data obtained as a result of fire tests was verified. The relative deviation did not exceed 3%, and the calculated adequacy criteria (Fisher's F-test) are below the critical value, which confirms the adequacy of experimental data.

Key words: method; test; Fisher's test; reproducibility of experimental data