

УДК 624.012.4

В. О. Степаненко, викл. каф. (ORCID 0009-0001-0839-197X)
О. М. Нуянзін, д.т.н., доцент, нач. лаб. (ORCID 0000-0003-2527-6073)
А. В. Перегін, PhD, н.с. відділу (ORCID 0000-0003-2062-5537)
Д. О. Кришталь, к.держ.управ., викл. каф. (ORCID 0000-0003-3254-4574)
Д. Е. Копитін, фахів. відділу (ORCID 0000-0003-2505-9394)
Національний університет цивільного захисту України, Черкаси, Україна

РЕЗУЛЬТАТИ ПРОГРІВУ СТАЛЕЗАЛІЗОБЕТОННИХ ПЛИТ З ГОФРОВАНИМ ПРОФІЛЕМ ПІД ЧАС ТЕПЛООВОГО ВПЛИВУ ПОЖЕЖІ

Проведено три експерименти з нагрівання фрагментів сталезалізобетонних плит з гофрованим профілем у малогабаритній вогневій печі та проаналізовано результати теплового впливу пожежі у контрольних точках для можливості їхнього використання під час оцінки вогнестійкості вказаних будівельних конструкцій. Обґрунтовано методика та результати експериментів з нагрівання фрагментів сталезалізобетонних плит з гофрованим профілем та дослідження температури на обігрівній та необігрівній поверхнях, у при арматурному шарі та контрольних точках. Описано етапи створення трьох малогабаритних фрагментів плити, товщиною 200 мм, із важкого бетону, із армуванням та умови їхнього зберігання. Проведення вищезазначених експериментів у малогабаритній вогневій печі, розробленій та створеній в рамках наукових досліджень університету. Механічне навантаження не застосовували; вплив проводили за стандартним температурним режимом пожежі з одностороннім нагріванням. За результатами експерименту на обігрівній поверхні зразка температура розподілялась рівномірно, досягаючи максимуму в 760 °С. Максимальні значення температури в контрольних точках становили 145 °С. Інші показники: на рівні арматури – 350 °С, необігрівній поверхні – 45 °С, Ці значення були зафіксовані на завершальній хвилині експерименту й продовжували лінійно зростати після виходу на плато. У ході огляду та аналізу було зафіксовано, що цілісність, теплоізоляційні та несучі властивості зразків залишились незмінними. Експериментальні дані визнано адекватними, оскільки відносне відхилення не перевищило 4,1 %, а критерії адекватності (Фішера, Стьюдента й Кохрена), що були розраховані, не перевищили критичних значень. Отримані дані можуть слугувати основою для моделювання температурного поля всередині плити.

Ключові слова: експеримент, пожежа, фрагмент, піч, залізобетон, сталь, сталезалізобетон, плита, температура, відтворюваність

1. Вступ

Галузь будівництва постійно розвивають та вдосконалюють. Набуло широкого використання сталезалізобетонних плит з гофрованим профілем для облаштування перекриттів будівель різного призначення. Дані перекриття є монолітними і створюють їх безпосередньо на будівельних майданчиках. Проте, оцінювання вогнестійкості, як правило, проводять за розрахунковими методиками, що, в свою чергу, спричиняє появу похибок. Вони пов'язані з обмеженістю розрахункових методик щодо врахування особливостей матеріалу. У такому випадку неможливо гарантувати безпеку людей під час евакуації та достатній час для виконання завдань підрозділами оперативно-рятувальної служби цивільного захисту під час ліквідації пожеж.

Таким чином, актуальною проблемою є підвищення точності та відтворюваності результатів оцінювання вогнестійкості сталезалізобетонних конструкцій.

2. Аналіз літературних даних та постановка проблеми

Дослідженню та вирішенню цієї проблеми у глобальному плані присвячені роботи [1–2]. У роботі [1] запропоновано експериментально-розрахункові методи для перевірки вогнестійкості основних видів будівельних залізобетонних

конструкцій, за запропонованими методиками із використанням малогабаритної вогневії печі проведено дослідження сталезалізобетонного фрагменту, що є розвитком попередніх робіт. Робота [2] розкриває удосконалену систему розміщення засобів вимірювальної техніки. В той же час присвячена лише залізобетонним стінам.

Існують вимоги щодо вогнестійкості подібних конструкцій, що регламентовано нормативними документами та процесу її оцінювання [3–5]. У цих нормативних документах передбачена можливість проведення випробувань будівельних конструкцій, зокрема плит, без застосування навантаження на зразки. Це стосується тих випадків, коли в лабораторних умовах через технічні обмеження неможливо відтворити умови навантаження. Стандарти допускають випробування як фрагментів будівельних конструкцій, так і повномасштабних елементів. Проте тестування нестандартних і великогабаритних конструкцій є складним через значні фінансові та трудові витрати, а також через обмеження розмірів випробувальних печей, які можуть бути меншими за розмір досліджуваних зразків. Крім того, такий підхід є неекологічним.

У дослідженні [6] представлено експеримент з нагрівання малогабаритних елементів залізобетонних конструкцій у компактній вогневії печі, що працює за стандартним температурним режимом пожежі, та описано процес верифікації отриманих експериментальних даних. Проте проведені дослідження стосуються виключно фрагментів колон. Робота [7] демонструє особливості конфігурації малогабаритної вогневої печі. Проте у роботі не вказано яким саме чином необхідно встановлювати сталезалізобетонні конструкції. Проте робота [8] пояснює, що для плит і стін не є суттєвої різниці орієнтація у просторі. В той же час дане дослідження стосується лише залізобетонних плит. У роботі [9] розглянуто сталезалізобетонні плити з армуванням ребер вертикальними сталевими листами та проаналізовано результати їх експериментальних досліджень зміни їхньої міцності. Проте, не містить досліджень особливостей прогрівання внутрішніх шарів під час нагрівання за умов пожежі. За результатами представленими у [10] встановлено, що оцінювання вогнестійкості, обраних для обчислювального експерименту, сталезалізобетонних плит протягом 120 хв теплового впливу стандартного температурного режиму пожежі не настає. Проте не вказано яким чином враховують особливості матеріалів, що входять до складу залізобетону та якість металу гофрованого профілю.

Враховуючи викладене вище, у представлених роботах недостатня увага приділена особливостям прогрівання сталезалізобетонних плит з гофрованим профілем під час теплового впливу пожежі, тому доцільно провести експериментальні дослідження та проаналізувати отримані результати.

3. Мета та завдання дослідження

Метою роботи було проведення експериментів з нагрівання фрагментів сталезалізобетонних плит з гофрованим профілем у малогабаритній вогневії печі та аналіз результатів теплового впливу пожежі у контрольних точках для можливості їхнього використання під час оцінювання вогнестійкості вказаних будівельних конструкцій.

Для досягнення мети дослідження, було поставлено та успішно вирішено наступні завдання:

- обґрунтувати методику проведення експериментальних досліджень та

- місць точкових замірів температури під час нагрівання досліджуваних зразків;
- проаналізувати результати вогневого випробування та отриманих даних експериментів;
 - перевірити адекватність отриманих результатів.

4. Матеріали та методи дослідження

Для проведення експерименту використовували малогабаритну вогневу піч (установку), спеціально створену для створення теплового впливу пожежі на будівельні конструкції [1–2].

Фрагменти сталезалізобетонних плит з гофрованим профілем (далі – фрагменти), номінальною товщиною 200 мм та розміром 1200×1200 мм були виготовлені заздалегідь до проведення випробування. Рецептuru виготовлення зразка взято відповідно до роботи [1] для забезпечення можливості порівняння отриманих результатів з раніше опублікованими даними. Пропорції сталезалізобетонного фрагмента такі: на 1 м³ – портландцемент марки «500» – 460±10 кг; пісок кварцовий – 660 ± 10 кг; щебінь гранітний – 1150 ± 10 кг; вода. Водо-цементне співвідношення: 0,3 × (вода – 138 ± 10 кг); з однаковими фракціями середнього розміру гранітного заповнювача (щебінь) – 10–20 мм.

Складники були дозовані за допомогою заводських вагових дозаторів. Бетонну суміш перемішували у бетономішалці вільного падіння з об'ємом 0,75 м³, а ущільнення здійснювали за допомогою глибинних вібраторів.

Профіль: Суцільний несучий сталевий профільний лист марки Н-114, товщиною 0,7 мм, покриття: ZN (Цинк).

Армування було виконано згідно з вимогами для будівництва конструкцій гофрованих плит, призначених для адміністративних і житлових будівель. Використано арматурний дріт класу Вр-І Ø 5 мм. Фрагменти виготовляли із застосуванням стандартної розбірної дерев'яної опалубки, в якій зразки було витримано протягом семи днів. Після розпалубки фрагменти додатково зберігалися 28 діб для набуття міцності. По завершенні цього періоду зразки утримували в нормальних умовах вологості та температури до моменту старту випробувань.

На рис. 1 наведено фотографію процесу виготовлення зразка № 1. Процес встановлення відображений на рис. 2.

Зразки зберігали в критому та добре вентильованому приміщенні. Транспортування проводили безпосередньо перед проведенням випробувань. Для цього їх встановлювали в малогабаритну вогневу піч та поводили нагрівання.

5. Експериментальні дослідження з нагрівання фрагментів сталезалізобетонних плит у малогабаритній вогневій печі

5.1. Методика проведення експериментальних досліджень

Методика випробувань полягала у впливі стандартного температурного режиму пожежі на фрагмент сталезалізобетонної плити з одностороннім нагріванням з боку гофрованого профілю (з нижньої частини плити). Отримані дані використовуватимуться для розрахункової оцінки межі вогнестійкості повнорозмірної конструкції під навантаженням.

Експерименти було проведено на навчальному комплексі практичної підготовки фахівців Оперативно-рятувальної служби цивільного захисту НУЦЗ Украї-

ни в с. Свидівок, Черкаського району, Черкаської області.



Рис. 1. Виготовлення фрагменту сталезалізобетонних плити



Рис. 2. Фрагмент сталезалізобетонної плити з гофрованим профілем, підготовлений до випробувань: 1 – бокові стінки камери вогневої печі; 2 – фрагмент сталезалізобетонної плити для проведення випробувань

Параметри зафіксовані перед початком випробувань:

- Дата: 09.05.2024.
- Температура повітря: 26 ± 1 °С.
- Вологість повітря: 58 %.
- Вітер: північний, 1–3 м/с.

Перед випробуванням було заміряно габаритні розміри та товщину зразків. Підготовлено три зразки різних розмірів:

- Зразок 1: 1197 × 1199 мм;
- Зразок 2: 1192 × 1196 мм;

- Зразок 3: 1196 × 1194 мм.

Фрагменти закріплювали у фронтній частині установки. Верхню частину камери печі закрили кришкою, а для щільного прилягання використовували фольговану мінеральну вату. На рис. 3 представлено загальну схему встановлення зразка та додаткових технічних засобів для проведення досліджень.

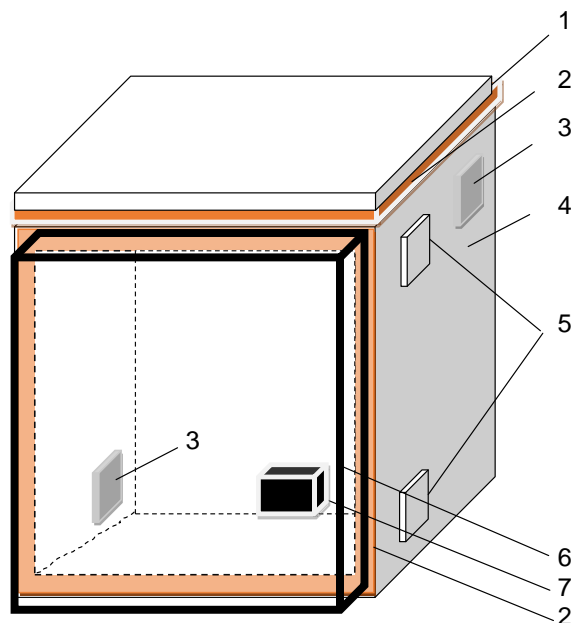


Рис. 3. Схема встановлення випробувального обладнання: 1 – панель, що закриває верхню частину камери печі; 2 – ущільнювач; 3 – пальники для створення температурного режиму у камері печі; 4 – огороження печі; 5 – місця для встановлення пальників; 6 – досліджуваний зразок будівельної конструкції; 7 – отвір виходу пічних газів

Під час нагрівання фрагмента застосовували два пальники, встановлені у верхній та нижній частинах дальнього боку установки. Таким чином факели полум'я знаходились на відстані 80 см від зразка (рис. 3). Інші 2 отвори для пальників на час випробувань були закладені цеглою і ущільнені мінеральною ватою, щоб запобігти витoku пічних газів через них.

Перед стартом початком випробувань були встановлені датчики контролю температури у вигляді термопар у камері вогневої печі на зразку та всередині нього (рис. 4):

- з метою контролю температурного режиму та його відповідності стандартному у камері вогневої печі було розміщено три термопари;
- по три термопари встановлено на рівні арматури та на обігрівальній поверхні зразка;
- п'ять терморезисторів із діапазоном вимірювання 0–300 °C розміщено на необігрівальній поверхні;
- два терморезистори встановлено у контрольних точках всередині перерізу плити.

Перед початком випробувань були встановлені та пронумеровані датчики контролю температури наступним чином (рис. 4):

- термопари $T_{o1} - T_{o3}$ розташовано на обігрівальній поверхні зразка;
- терморезистори $T_{n1} - T_{n3}$ встановлено на необігрівальній поверхні;
- термопари $T_{a1} - T_{a3}$ розміщено на рівні арматури (на глибині 0,03 м від поверхні);

– терморезистори $T_{к2}$ – $T_{к3}$ розташовано у контрольних точках на глибині 0,1 м від поверхні.

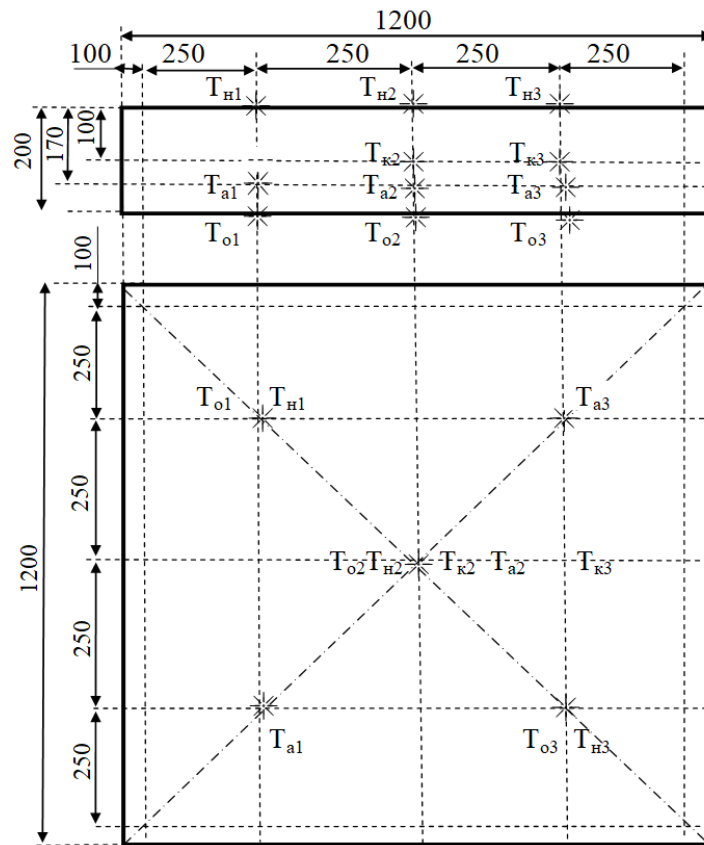


Рис. 4. Схема розташування датчиків контролю температури в перерізі фрагменту

Відповідно до розробленої методики, усі датчики контролю температури мають бути встановлені заздалегідь. Через специфіку одностороннього нагрівання необхідно враховувати всі три основні критерії вогнестійкості, тому температуру на необігрівній стороні слід вимірювати щонайменше у п'яти точках, рівномірно розосереджених по площі.

Щодо оцінки цілісності, у разі випробування фрагментів можливе візуальне спостереження: при появі тріщин на поверхні можна вважати, що цілісність порушена.

Під час експерименту використовувались метрологічні прилади та засоби, подібні до тих, що описані в роботах [8].

5.2. Результати експериментів та їхній аналіз

У ході випробувань здійснювали фото- та відеофіксацію експерименту. На рис. 5 наведено загальне фото, зроблене під час проведення експерименту.

Згідно з показниками нагрівання термопар (рис. 6), лінійна швидкість нагрівання камери печі відповідає стандартній температурній кривій пожежі й перебуває в межах норми [3]. При досягненні температури 940 °C було встановлено стаціонарний режим завдяки регулюванню потужності нагрівання печі. Тривалість випробувань склала 63 хв. У процесі нагрівання сталезалізобетону розпочалася деструкція матеріалу з виділенням вологи та пари, що містилися всередині.

На рисунках 7–10 представлено результати показників термопар на обігрівній і необігрівній поверхнях, на рівні арматури, а також у контрольних точках.

Відповідно до результатів контролю температурного режиму він відповідав стандартному, що представлено на рис. 6.

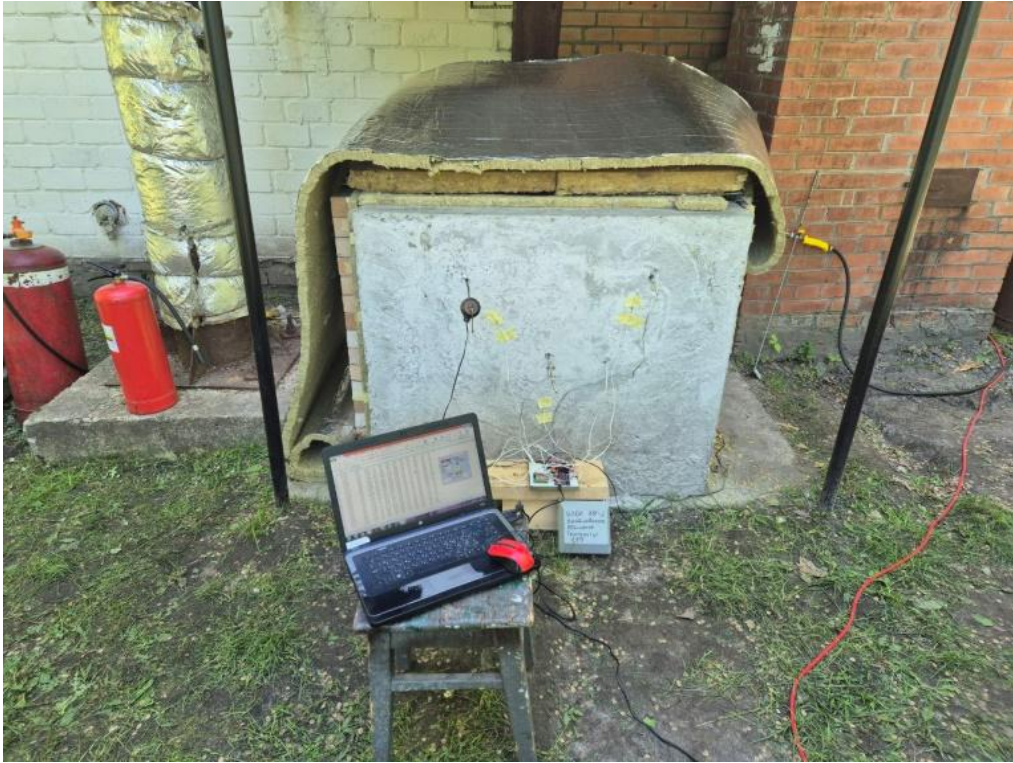


Рис. 5. Вигляд малогабаритної вогневої печі перед початком випробувань

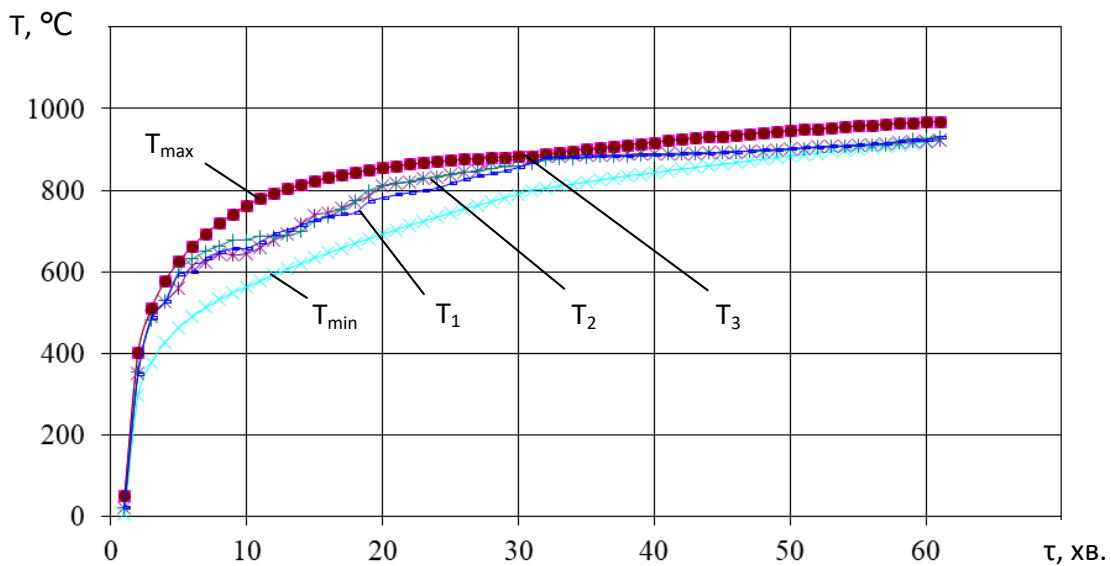


Рис. 6. Лінійна швидкість нагрівання камери печі під час випробування фрагмента: T_{\min} , T_{\max} – граничні межі випробувань за стандартним температурним режимом пожежі [2]; T_1 , T_2 , T_3 – показники термопар у ході вогневих випробувань

Дослідження тривало 60 хв оскільки після цього температурний режим наближається до стаціонарного. В результаті огляду та аналізу не було виявлено втрати цілості, теплоізоляційної та несучої здатності зразків.

5.3. Перевірка адекватності отриманих даних

Для оцінки адекватності результатів експериментів було здійснено верифі-

кацію в контрольних точках згідно з рекомендаціями досліджень [1–2]. Узагальнені результати розрахунків критеріїв адекватності наведено в табл. 1.

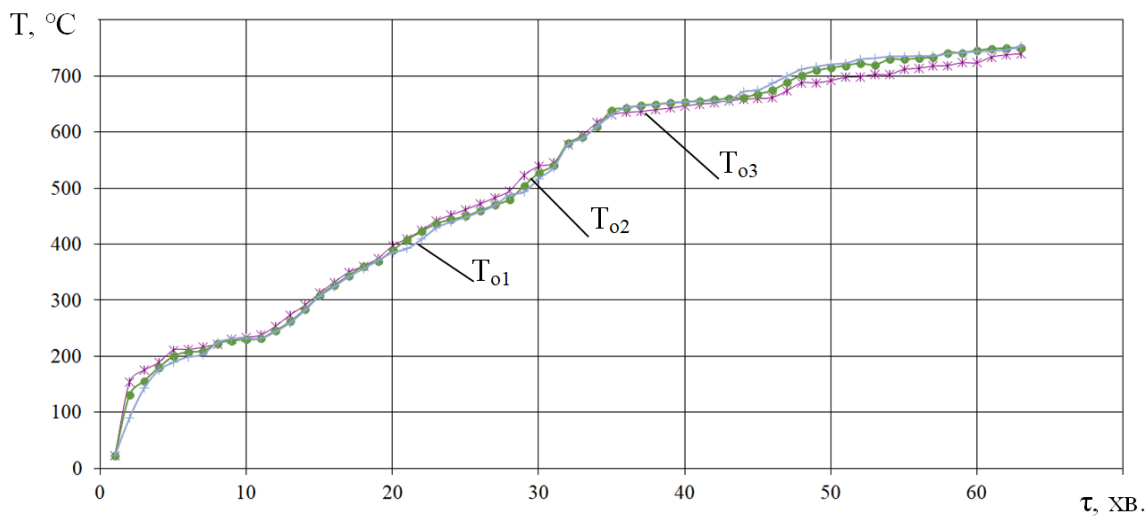


Рис. 7. Дані замірів на обігрівній поверхні плити: T_{o1} – T_{o3} – показники термопар

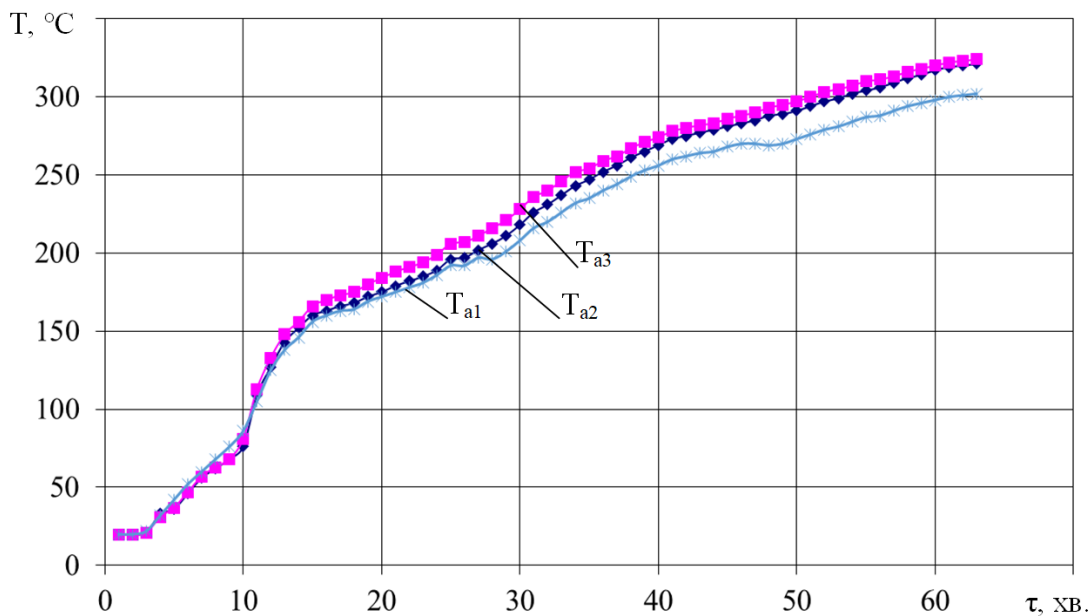


Рис. 8. Дані замірів на рівні арматури всередині плити: T_{a1} – T_{a3} – показники термопар

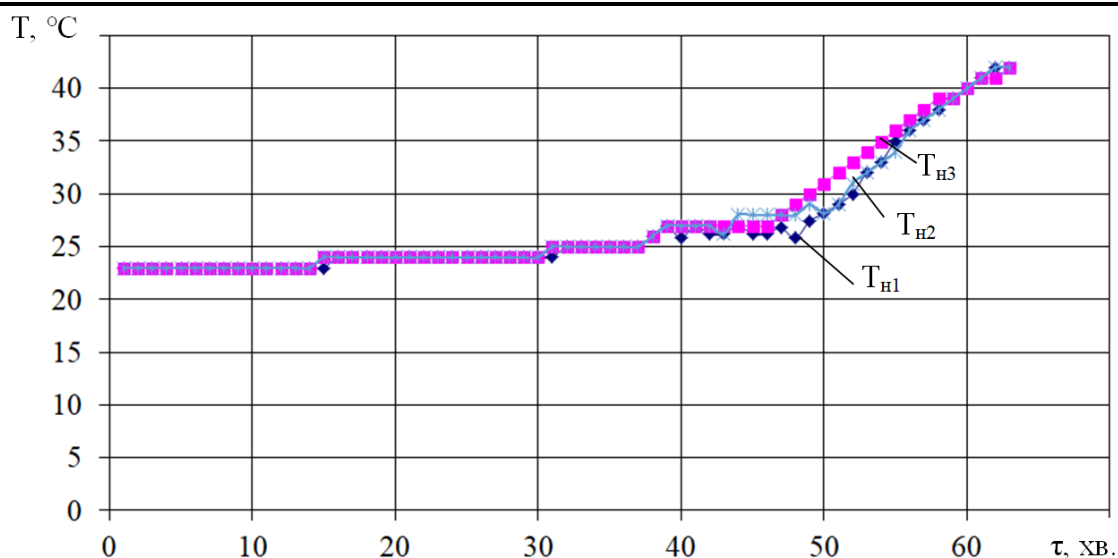


Рис. 9. Дані замірів на необігрітій поверхні плити: T_{H1} - T_{H3} – показники термопар

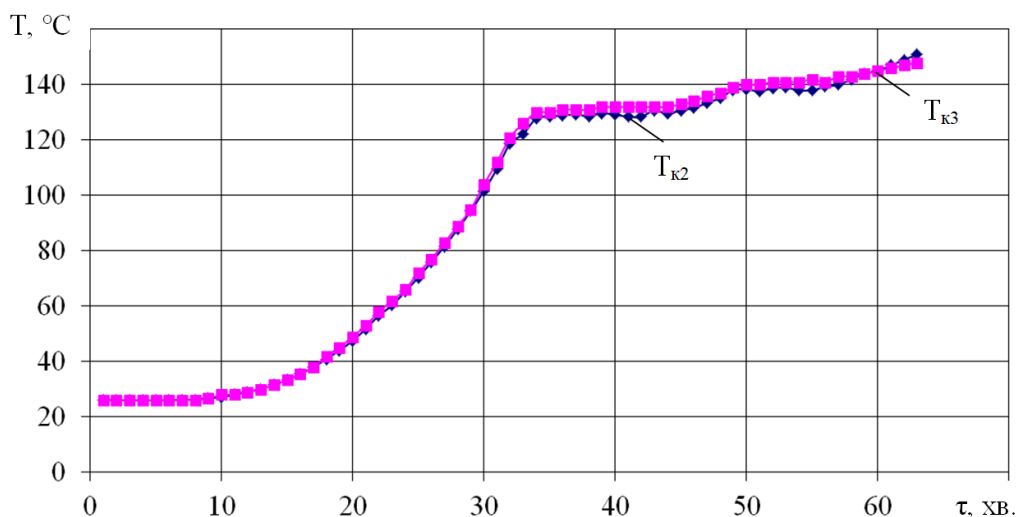


Рис. 10. Дані замірів у контрольних точках плити (серединний переріз): T_{K2} , T_{K3} – показники термопар

5.3. Перевірка адекватності отриманих даних

Для оцінки адекватності результатів експериментів було здійснено верифікацію в контрольних точках згідно з рекомендаціями досліджень [1–2]. Узагальнені результати розрахунків критеріїв адекватності наведено в табл. 1.

Табл. 1. Кількісні показники дисперсії результатів вогневих випробувань відповідно до результатів проведених експериментів

Термопара / терморезистор (рис. 4)	Максимальне відхилення, °C	Середнє відхилення, °C	Відносне відхилення, %	F-критерій	Критичне значення F-крит.	t-критерій	Критичне значення t-крит.	Q-критерій	Критичне значення Q-крит.
T_{K1}	17,6	6,9	2,8	1,26	4,49	1,19	2,92	0,07	0,45
T_{K2}	22,6	9,2	4,1	1,42		1,36		0,13	

Як показано в табл. 1, відносне відхилення становить не більше 4,1 %, а обчислені критерії адекватності (Фішера, Стюдента та Кохрена) є нижчими за критичні значення, що підтверджує достовірність експериментальних даних.

6. Обговорення результатів експериментальних досліджень з нагрівання фрагментів сталезалізобетонних плит

Отримані результати нагрівання фрагментів сталезалізобетонних плит з одностороннім нагріванням з боку гофрованого профілю під час впливу стандартного температурного режиму пожежі засвідчили рівномірність прогріву внутрішніх шарів, що зумовлено рівномірністю прогріву камери малогабаритної вогневої печі.

На основі аналізу даних, отриманих у результаті експериментів (рис. 7–10), виділено наступні особливості:

- температура у камері печі під час нагрівання фрагментів відповідала стандартному температурному режиму пожежі [3].

- під час нагрівання сталого залізобетону (залізобетону) спостерігався процес виділення вологи та пари з матеріалу: на обігрівній поверхні цей процес тривав з 7 до 12 хв (рис. 7), на рівні арматури – з 19 до 28 хв (рис. 8), а у контрольних точках – з 32 до 46 хв (рис. 10).

- площини у конструкціях прогрівались рівномірно відносно відстані від поверхні нагрівання (рис. 7–10);

- на останній хвилині експерименту на рівні арматури максимальна температура складала 350 °С та продовжувала лінійно зростати;

- на останній хвилині експерименту максимальна температура у контрольних точках досягла 145 °С та лінійно зростала.

- на останній хвилині експерименту максимальна температура на необігрівній поверхні досягла 45 °С та також зростала лінійно.

- було проведено верифікацію даних для підтвердження достовірності отриманих результатів.

- отриманих даних достатньо для подальших розрахунків температурних полів всередині конструкції та оцінки її вогнестійкості.

Загалом було проведено три експерименти за стандартним температурним режимом пожежі у малогабаритній установці. Для цього було використано три фрагменти, виготовлені з ідентичних матеріалів за однакових умов. Відносне відхилення результатів не перевищило 4,1 %, а розраховані критерії адекватності (Фішера, Стюдента та Кохрена) виявилися нижчими за критичне значення.

Вихідні дані експериментального дослідження можуть слугувати основою для відтворення температурного поля усередині плити, що дасть можливість вирішити задачу міцності та оцінити вогнестійкість великогабаритних конструкцій та є перспективою подальших досліджень даної роботи.

7. Висновки

1. Обґрунтовано методику підготовки та проведення експериментальних досліджень з нагрівання фрагментів плит зі сталезалізобетону. Суть експериментів полягала у впливі стандартного температурного режиму пожежі на фрагменти номінальним розміром 1200×1200 мм за допомогою малогабаритної вогневої установки. Це дозволяє досліджувати тепловий вплив на будівельні

конструкції без додаткового механічного навантаження, забезпечуючи одностороннє нагрівання. Було описано засоби виміральної техніки та особливості їхнього розміщення. З метою контролю температури в камері вогневої печі було використано термопари ТХА-2388, що забезпечують вимірювання у діапазоні від 0 до 1300 °С. Для температурних вимірювань усередині досліджуваного зразка використовувалися терморезистори MF 52, які функціонують у межах від –30 до 300 °С.

2. Проаналізовано результати експериментів. Відбувався рівномірний розподіл температури на обігрівній поверхні досліджуваного фрагмента, де максимальна температура досягла 760 °С. Температура у контрольних точках склала 145 °С, на необігрівній поверхні – 45 °С, а на рівні арматури – 350 °С. Ці показники спостерігалися на останній хвилині експерименту та продовжували лінійно зростати.

3. Адекватність експериментальних даних була підтверджена методами математичної статистики: відносне відхилення не перевищило 4,1 %, а розраховані критерії адекватності (Фішера, Стюдента та Кохрена) не перевищили критичних значень, що відповідає вимогам до точності. Це дозволяє використовувати отримані дані для подальшого моделювання температурного поля всередині плити, що відкриває перспективи для наступних досліджень у рамках цієї роботи.

Література

1. Нуянзін О. М. Розвиток наукових основ оцінювання вогнестійкості залізобетонних будівельних конструкцій з використанням малогабаритних модульних вогневих печей. Дис. ... д.т.н. : 21.06.02, Львів: Львівський державний університет безпеки життєдіяльності, 2023. 418 с. <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/20657>

2. Перегін А. В. Удосконалення експериментально-розрахункового методу оцінювання межі вогнестійкості несучих залізобетонних стін. Дис. ... д-р філософії : 261, Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2024. 162 с. <https://chipb.dsns.gov.ua/upload/1/9/9/7/2/4/9/disertaciaa-alini-peregin-udoskonalennia-eksperimentalno-rozrahunkovogo-metodu-ociniuvannia-mezi-vognestiikosti-nesucix-zalizobetonnix-stin.pdf>

3. ДСТУ EN 1363-1:2023 Випробування на вогнестійкість. Частина 1. Загальні вимоги (EN 1363-1:2020, IDT).

4. ДБН В.1.1-7-2016 «Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги».

5. ДСТУ Б В.1.1-20:2007 Захист від пожежі. Перекриття та покриття. Метод випробування на вогнестійкість (EN 1365-2:1999, NEQ).

6. Nuianzin O. et al. Study of the thermal effect of fire on fragments of reinforced concrete columns based on the results of experimental tests. *Strength of Materials and Theory of Structures*. 2024. № 112. P. 202–208. <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/20748>

7. Перегін А. В., Нуянзін О. М. Етапи створення прототипу вогневої установки для визначення температурних розподілів малогабаритних фрагментів залізобетонних конструкцій. «Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідування» : зб. наук. праць. Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України-
construction and Civil Engineering. DOI: 10.52363/2524-0226-2024-40-9

ни. 2021. Т.5. № 2. С. 75–82. <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/21262>

8. Нуянзін О. М., Борисова А. С. Розрахункове оцінювання межі вогнестійкості залізобетонної плити за результатами вогневих випробувань без механічного навантаження. Цивільна безпека: державне управління та антикризовий менеджмент. Київ: ІДУНДЦЗ. 2023. № 1(2). С. 25–40. <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/20741>

9. Стороженко Л. І., Іванюк А. В., Клецов О. В. Експериментальні дослідження сталезалізобетонних плит з армуванням ребер вертикальними сталевими листами. Збірник наукових праць. Серія: Галузеве машинобудування, будівництво. Полтава : ПолтНТУ. 2012. Вип. 3(33). С. 249–255. <https://reposit.nupr.edu.ua/handle/PolNTU/8468>

10. Некора, В. С., Сідней, С. О., Некора, О. В., Шналь, Т. М. Поведінка сталезалізобетонної плити при пожежі. Проблеми надзвичайних ситуацій: Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції. Харків: НУЦЗ України. 2022. С. 34–35. <https://nuczu.edu.ua/images/topmenu/science/konferentsii/2022/2.pdf#page=35>

V. Stepanenko, Lecturer of the Department

O. Nuianzin, DSc, Associated Professor, Head of the Laboratory

A. Perehin, PhD, Researcher of the Scientific Department

D. Kryshchal, PhD in Governance, Lecturer of the Department

D. Kopytin, Specialist of the Scientific Department

National University of Civil Protection of Ukraine, Cherkasy, Ukraine

RESULTS OF THE HEATING OF REINFORCED CONCRETE SLABS WITH A CORRUGATED PROFILE DURING THE THERMAL EFFECT OF FIRE

Three experiments were conducted on heating fragments of reinforced concrete slabs with a corrugated profile in a small-sized installation and the results of the thermal effect of fire at control points were analyzed for the possibility of their use when assessing the fire resistance of the specified building structures. The methodology and results of experiments on heating fragments of reinforced concrete slabs with a corrugated profile and the study of the temperature on heated and unheated surfaces, in the reinforcement layer and at control points were substantiated. Conducting the above-mentioned experiments in a small-sized installation for the study of the thermal effect of fire on building structures without mechanical load consisted in the effect of the standard temperature regime of fire with one-sided heating. To measure the temperature in the furnace and in the investigated fragments, thermocouples were used, which can be used to measure temperatures in the range from 0 to 1300 °C and thermistors to measure temperatures in the range from -30 to 300 °C. According to the conducted experiment, there was a uniform distribution of temperatures on the heating surface of the studied small fragment, the maximum temperature reached was 760 °C. Maximum temperatures: at control points it was 145 °C; on the unheated surface it was 45 °C, and at the level of the armature – 350 °C. Studies are limited to 60 minutes, since the temperature can then approach the stationary one. The adequacy of the experimental data was confirmed: the relative deviation did not exceed 4.1 %, and the calculated adequacy criteria (Fisher, Student and Cochran) were below the critical value. The initial data of the experimental study can serve as the basis for reproducing the temperature field inside the slab.

Keywords: experiment, fire, fragment, furnace, reinforced concrete, steel, steel-reinforced concrete, stove, temperature, reproducibility

References

1. Nuianzin, O. M. (2023). Rozvytok naukovykh osnov otsinyuvannya vohnestiykosti zalizobetonnykh budivel'nykh konstruktsiy z vykorystannyam malohabarytnykh modul'nykh vohnevykh pechey. Dys. ... d-r. tekhn. nauk : 21.06.02, L'viv: L'vivs'kyu derzhavnyu universytet bezpeky zhyttyediyal'nosti, 418. Available at:

<http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/20657>

2. Perehin, A. V. (2024). Udoskonalennya eksperymental'no-rozrakhunkovoho metodu otsynuyvannya mezhi vohnestiykosti nesuchykh zalizobetonnykh stin. Dys. ... d-r filosofiyi : 261, Cherkasy: CHIPB im. Heroyiv Chornobylya NUTSZ Ukrayiny, 162. Available at: <https://chipb.dsns.gov.ua/upload/1/9/9/7/2/4/9/disertaciia-alini-peregin-udoskonalennia-eksperymentalno-rozraxunkovogo-metodu-ociniuvannia-mezhi-vognestiykosti-nesucix-zalizobetonnix-stin.pdf>

3. DSTU EN 1363-1:2023. (2023). Vyprovuvannya na vohnestiykist'. Chastyna 1. Zahal'ni vymohy (EN 1363-1:2020, IDT).

4. DBN V.1.1-7-2016. (2016). «Pozhezhna bezpeka ob'yektiv budivnytstva. Zahal'ni vymohy».

5. DSTU B V.1.1-20:2007. (2007). Zakhyst vid pozhezhi. Perekryttya ta pokryttya. Metod vyprovuvannya na vohnestiykist' (EN 1365-2:1999, NEQ).

6. Nuianzin, O., Kozak, A., Yanishevskyi, V., Kryshal, V. (2024). Study of the thermal effect of fire on fragments of reinforced concrete columns based on the results of experimental tests. *Strength of Materials and Theory of Structures*, (112), 202–208.

7. Perehin, A., Nuianzin, O. (2021). Etapy stvorennia prototypu vohnevoyi ustanovky dlya vyznachennya temperaturnykh rozpodiliv malohabarytnykh frahmentiv zalizobetonnykh konstruktsiy. Nadzvychayni sytuatsiyi: poperedzhennya ta likviduvannya, 5(2), 75–82. Available at: <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/21262>

8. Nuianzin, O., Borysova, A. (2023). Rozrakhunkove otsynuyvannya mezhi vohnestiykosti zalizobetonnoyi plyty za rezul'tatamy vohnevnykh vyprovuvan' bez mekhanichnoho navantazhennya. *Civil security: Public administration and crisis management*, (1(2)), 25–40. <http://repositsc.nuczu.edu.ua/handle/123456789/20741>

9. Storozhenko, L. I., Ivanyuk, A. V., Klestov, O. V. (2012). Eksperymental'ni doslidzhennya stalezalizobetonnykh plyt z armuvanniam reber vertykal'nymy stalevymy lystamy. Available at: <https://reposit.nupp.edu.ua/handle/PolNTU/8468>

10. Nekora, V. S., Sidney, S. O., Nekora, O. V., Shnal, T. M. (2022). Povedinka stalezalizobetonnoyi plyty pry pozhezhi. *Redaktsiyina kolehiya*, 34. Available at: <https://nuczu.edu.ua/images/topmenu/science/konferentsii/2022/2.pdf#page=35>

Надійшла до редколегії: 09.10.2024

Прийнята до друку: 14.11.2024