

стало відомо, що в цьому програмному комплексі також можна побачити нерівномірність розподілення температур під час випробувань на вогнестійкість на обігрівній поверхні конструкцій. Аналізуючи попередні розрахунки, висвітлені в роботі [67], можна зазначити, що до актуальних питань належить вдосконалення установок для випробувань на вогнестійкість залізобетонних будівельних конструкцій, оскільки установки істотно відрізняються геометричною конфігурацією від сучасних вогневих печей, схемами розташування й конструкцією вимірювальної арматури, видом паливно-форсункової системи, економічними параметрами вогневих печей під час експлуатації та побудови камер.

За результатами роботи [68], де виконували моделювання повномасштабних вогневих випробувань, зазначено, що похибка, визначена під час порівняння експериментальних та розрахункових даних, не мала істотних значень. Отже, результати моделювання є адекватними це дає змогу використовувати даний підхід, а саме: моделювання за допомогою програмних комплексів для прогнозування поведінки будівельних конструкцій в наближених до реальних умов пожежі.

Відповідно до виконаних раніше досліджень [66 – 69], методи та засоби мають похибки, тому доцільно зробити додаткове дослідження і встановити можливість моделювання тепломасообміну для виявлення ймовірності відтворення умов випробувань на вогнестійкість будівельних конструкцій.

У існуючих наукових роботах [66 – 69] не була перевірена можливість моделювання установок для випробування на вогнестійкість будівельних конструкцій у програмному комплексі FDS.

З огляду на це, для виконання досліджень передбачено використання модельної установки, вогневих камер відповідних варіантів, із оглядом двох конфігурацій модельної печі, яка відповідно до програмного комплексу Fire Dynamics Simulator може бути змодельована з урахуванням основних вимог [1, 6].

Було перевірено можливість моделювання установок для випробування на вогнестійкість будівельних конструкцій в програмному комплексі FDS.

Польові моделі CFD (computational fluid dynamics – англ. обчислювальна гідродинаміка), – це більш універсальний та потужний інструмент, ніж інтегральні та зональні тому, що ґрунтовані на зовсім іншому принципі. Їх переваги детально відображено у роботі [66].

На першому етапі роботи [64] було розроблено алгоритм створення моделі вогневої печі з факельним горінням та розглянуто дві конфігурації вогневих печей для випробувань на вогнестійкість будівельних конструкцій.

Геометричні конфігурації печей зображені на рис. 2.4., а габаритні розміри камер зазначені в табл. 2.2.

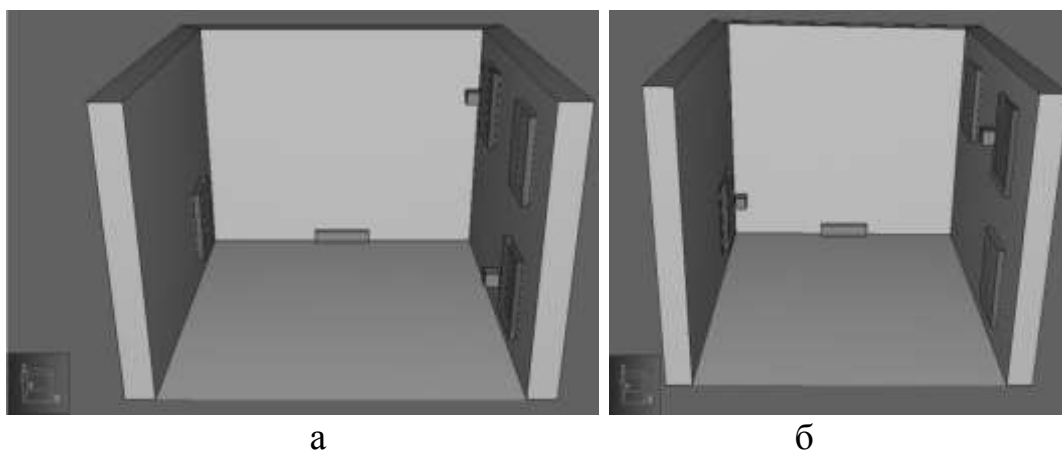


Рисунок 2.4. Конфігурації камер вогневих печей: *а* – конфігурація 1 та *б* – конфігурація 2

Основні принципи побудови математичної моделі – створення сіткової моделі вогневої печі, що показано на рис. 2.5.

Для створення, за стандартними розмірами, моделей камер вогневих печей необхідно створити сітку, зазначити її границі: висоту, довжину, та ширину, а також кількість комірок зазначати по X , Y , та Z , їх можна встановлювати самостійно.

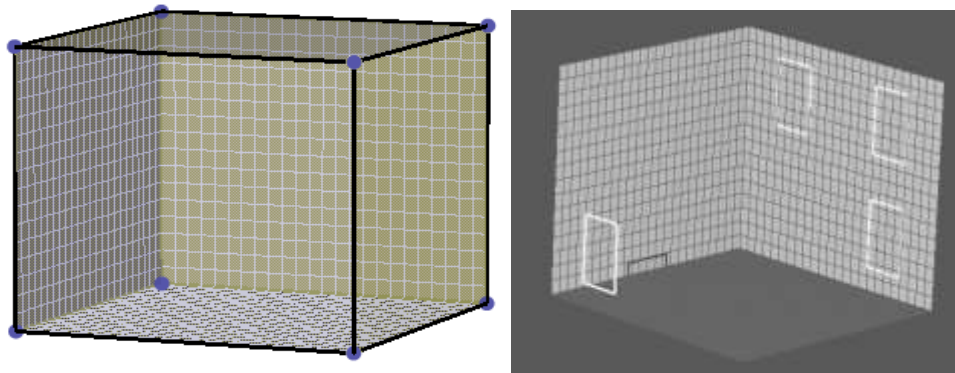


Рисунок 2.5. Сіткова модель розрахункової області вогневих печей конфігурацій 1 та 2

Таблиця 2.2 – Габаритні розміри установки для випробувань на вогнестійкість будівельних конструкцій різних конфігурацій

Назва печі	Розміри камери вогневої, мм			Кількість пальників у камері печі	Кількість отворів для відведення продуктів горіння
	ширина	Висота	глибина		
Випробувальна установка конфігурації 1	1000	1000	1000	2	1
Випробувальна установка конфігурації 2	1200	1000	1200	2	1

Відповідно до габаритів камер вогневих печей було обрано дев'ять термопар, які представлені на рис. 2.6. Врахувавши можливості програмного забезпечення FDS, додатково було створено площини, які зможуть графічно висвітлити розподілення температур по площинам відповідно до рис. 2.7.

Цей програмний комплекс дає змогу працювати як в текстовому режимі так і в 2D та 3D.

На рис. 2.8. відображено розподіл температур за площею (див. рис. 2.7.) біля поверхонь конструкцій вогневої печі досліджуваного фрагмента несучої стіни, біля форсунок та виходів продуктів горіння у кожній з конфігурацій на 10-ій та 60-ій хвилині випробувань.

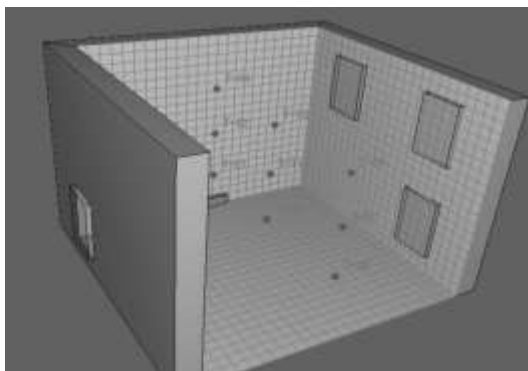
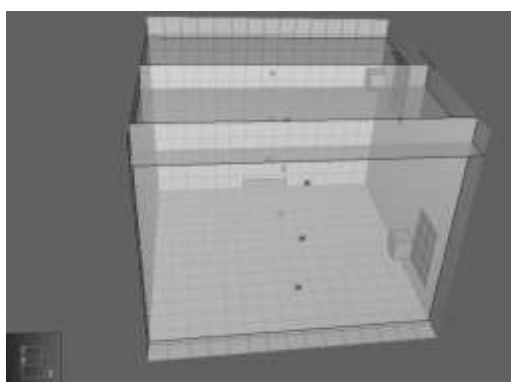
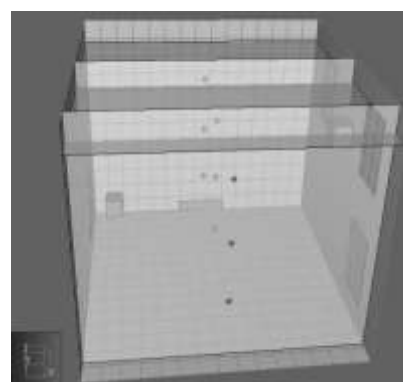


Рисунок 2.6 Розташування термопар в 3D моделях конфігурацій вогневих печей



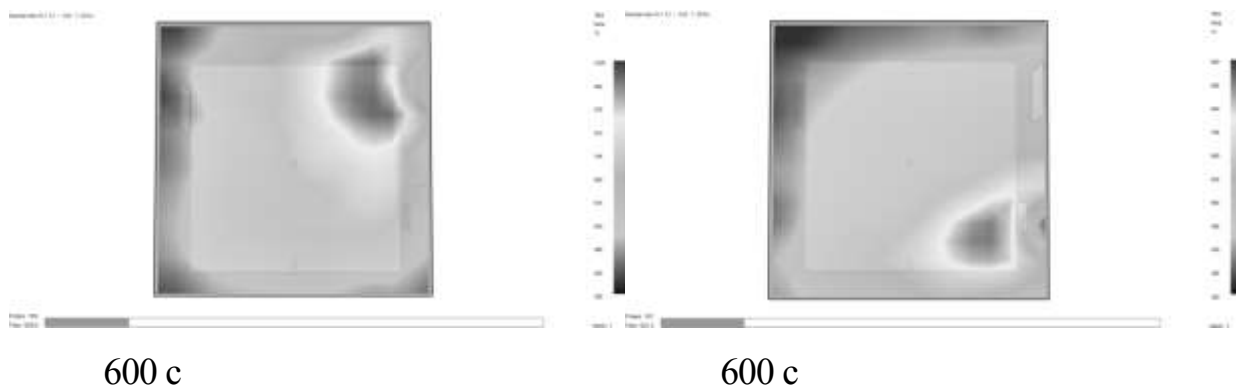
а



б

Рисунок 2.7. Розташування в 3D моделях конфігурацій вогневих печей температурних площин: *а* – Конфігурація 1; *б* – Конфігурація 2

Наступним етапом було проаналізовано на 60-ій хвилині моделювання розподіл температур по поверхні конструкції.



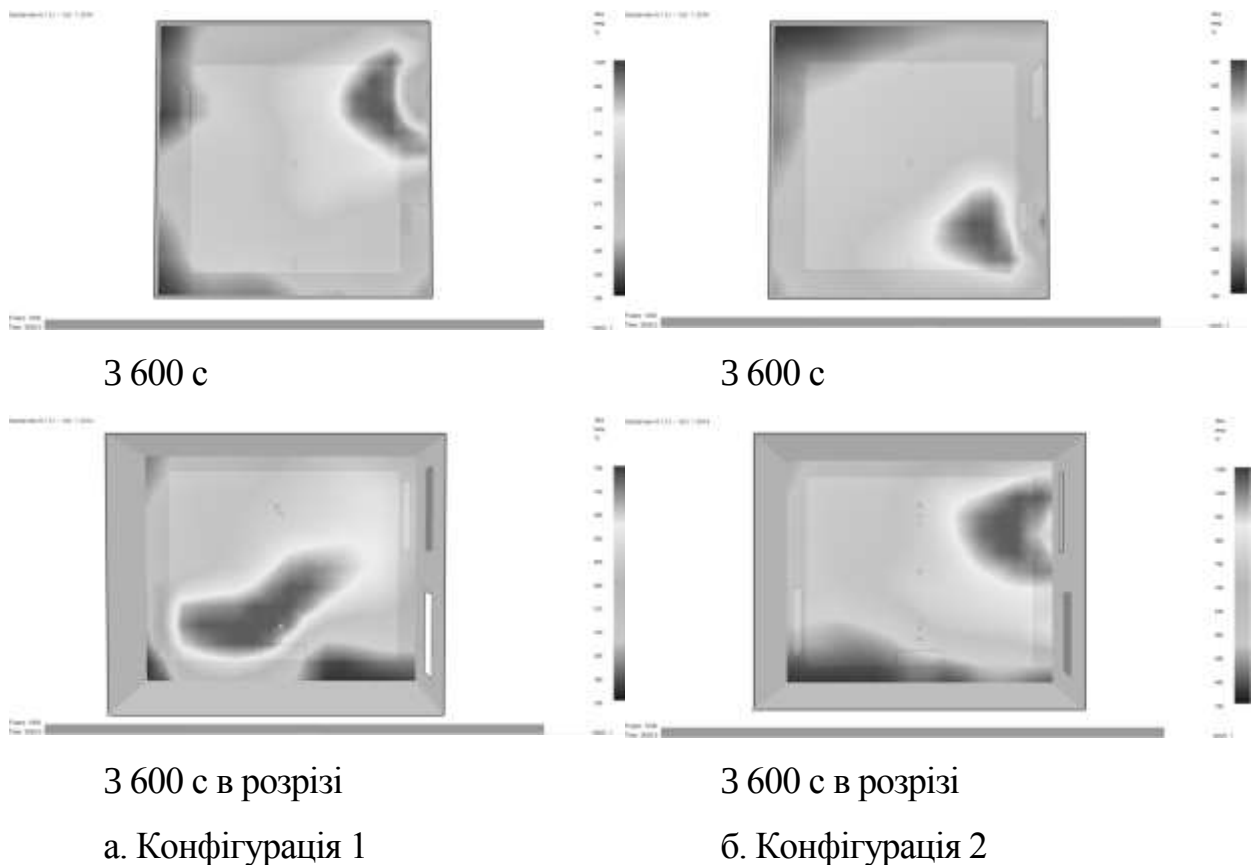


Рисунок 2.8. Розподіл температур в змодельованих камерах вогневих печей за площинами

Основними недоліками «Конфігурації 1» (рис. 2.4, а) порівняно з іншими конфігураціями є невеликий розмір печі, недосконале розташування отворів для відведення продуктів горіння та розташування форсунок. Через це фрагмент конструкції прогрівається нерівномірно. Конструкція прогрівається слабше над отворами для видалення продуктів горіння та у лівій крайній частині камери вогневої печі [64].

Змінивши параметри внутрішнього простору камери печі «Конфігурації 2» (рис. 2.4, б) та змінивши розміщення 2-ох пальників, температура рівномірно розподілилась по обігрівній поверхні фрагмента (рис. 2.4, б). Відбувся більш характерний розподіл температур по вертикалі внаслідок правильного розміщення отворів для відведення продуктів горіння, біля яких конвективні потоки були направлені у бік означених отворів, а температура рівномірно розподілилася саме по поверхні фрагмента.

Відповідно до розрахунків було визначено температуру на дев'яти встановлених термопарах в печі, які зображені на рисунку 2.9.

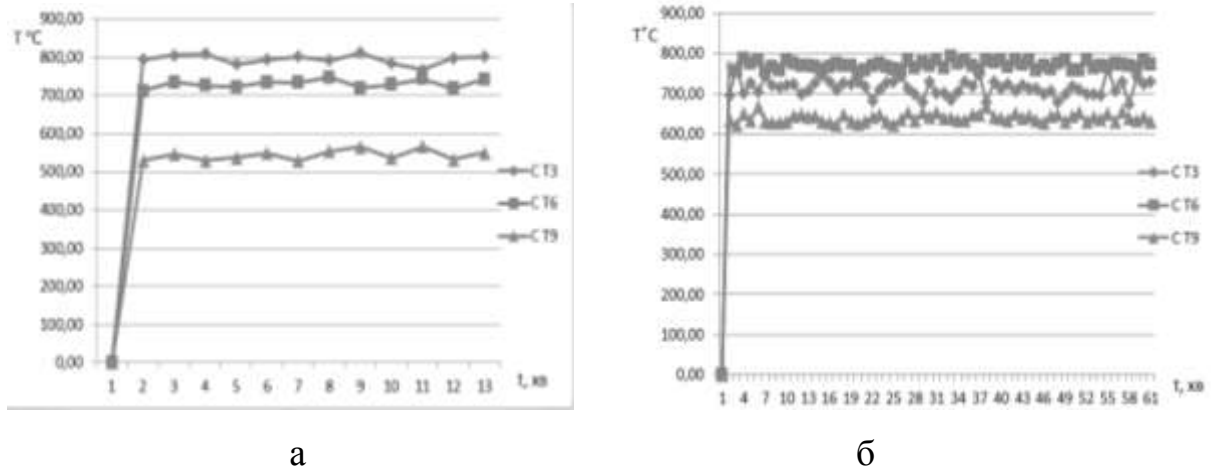


Рисунок 2.9. Графіки датчиків контролю температури Т3, Т6, Т9 в камері вогневої печі під час обчислювального експерименту: *а* – Конфігурація 1, *б* – Конфігурація 2

Відповідно до створених моделей печей з різними конфігураціями, було отримано наступні дані термопар, які представлені на рис. 2.6, які свідчать про те, що розподіл температур по всій площі печі є рівномірний. Через те, що неможливо змінити початкові дані подавання газу для нагрівання камер та малі габарити печі, максимальна температура у верхній частині камер вогневих печей була досягнута вже на 3-ій хвилині в Конфігурації 1 – 810 °C, а в Конфігурації 2 – 790 °C та відповідно у нижній частині 520 °C і 620 °C. У горизонтальних площинах абсолютне відхилення температури не перевищило 30 °C. Проте не відповідає стандартному, температурний режим, що створюється в печі [1, 64].

На основі отриманих даних можемо зробити наступні висновки.

Вдосконалення методів та засобів оцінювання вогнестійкості несучих залізобетонних стін належить до актуальних питань, оскільки, як при розрахункових так і при експериментальних методах існують похибки.

1. Для моделювання тепломасообміну у камерах вогневих печей, можливості програмного комплексу FDS та його математичний апарат дозволяють створити установки із факельним горінням.

2. Описано алгоритм створення моделі вогневої печі з факельним горінням у вищезазначеному програмному комплексі. Показано особливості створення геометричної та сіткової моделей. Було обрано дві конфігурації вогневих печей, які відрізнялись геометричними характеристиками для виконання обчислювальних експериментів.

3. Відповідно до виконаних обчислювальних експериментів з моделювання тепломасообміну по всій площі печі відбувається рівномірний розподіл температур, максимальна досягнута температура в конфігурації була 810 °C, а в 2-ій конфігурації – 790°C. Розбіжність температур у різних площинах не перевищувала 30 °C;

4. Проаналізувавши отримані результати, можна стверджувати, що в них існують суттєві недоліки. Коригувати інтенсивність горіння факелів полум'я, в процесі розрахунку, неможливо, що є особливістю даного програмного комплексу. Необхідні дані закладено у препроцесор, задано час розрахунку, а далі відбувається інтенсивне прогрівання камери вогневої печі тому, що FDS працює автономно та не дозволяє відтворити стандартний температурний режим у камері вогневої печі. Стаціонарна температура досягається вже через одну хвилину та тримається протягом часу розрахунку.

5. З результатів виконаної роботи та вищеописаних у п. 4 недоліків, бачимо, що програмний комплекс FDS має обмеження, що зумовлює визначити лише рівномірність прогрівання обігрівній поверхні конструкції та камери вогневої печі.

2.5. Розроблення моделі малогабаритної вогневої установки та перевірка валідності результатів за допомогою програмного комплексу FlowVision

Основним завданням є гарантування вогнестійкості залізобетонних будівельних конструкцій та пожежної безпеки, під час їх проєктування, яка

повинна відповідати вимогам норм пожежної безпеки. Зазвичай, у спеціальних випробувальних установках, межі вогнестійкості будівельних конструкцій досліджують проведенням вогневих випробувань за стандартним методом. Але, є досконалішими самі конструкції та сукупність правил, методів та певних норм, які призначені для забезпечення достовірності вимірювань, тому їх необхідно поліпшувати. Для вирішення цього питання потрібно виконувати додатково досліди з використання установок для виконання вогневих випробувань. Але висока вартість таких випробувань та велика трудомісткість за допомогою програмних комплексів спонукає моделювати тепломасообмін у камерах вогневих печей. Також фактом є те, що існуючі методи стандартизуються лише на температурно-часових кривих датчиків контролю температури камери вогневої печі. Тому від конструктивних елементів та геометричних параметрів камери вогневої печі залежить рівномірність прогрівання залізобетонної будівельної конструкції. У цій роботі показано, як геометричні параметри, розміщення отвору для видалення продуктів горіння, отворів для встановлення пальників та внутрішньої будови камери печі залежить рівномірність розподілення температури по обігрівній поверхні вертикальних будівельних конструкцій [70].

В попередніх дослідженнях [71] за допомогою системи автоматизованого проектування було змодельовано низку конфігурацій та встановлено 3 з них, які найбільш адекватно працюють, їх можливо використовувати в FlowVision та FDS. З використанням створених конфігурацій у SolidWorks, у вище зазначених програмних комплексах FlowVision та FDS, можливо перевірити розподіл температур по обігрівній поверхні та всій площі печі.

Розглянувши роботу [69] стало відомо, що за допомогою програмного комплексу CFD FlowVision, на основі повної системи рівнянь Нав'є – Стокса 2.5, дають недостовірні результати обчислювальних експериментів створені математичні моделі вертикальних вогневих печей для випробувань залізобетонних стін на вогнестійкість з різними геометричними

параметрами та кількістю пальників. У верхній частині камери вогневої печі температура перевищує допустиму похибку випробувань, а в нижній – потрібна температура у необхідний проміжок часу не досягається. У камерах вогневих печей температура розподіляється нерівномірно.

Аналізуючи висвітлені у роботах [72, 73] попередні математичні моделі можна зазначити, що для виконання випробувань на вогнестійкість несучих залізобетонних стін камери вогневих печей потрібно поліпшувати, оскільки вогневі печі істотно відрізняються конструкцією вимірювальної арматури, схемами розташування отворів для пальників та їхньою кількістю, видом паливно-форсункової системи та геометричною конфігурацією. Тобто питання ефективності моделювання умов нагрівання залізобетонних будівельних конструкцій залишається актуальним відповідно до умов стандартного температурного режиму пожежі.

Відповідно до попередніх досліджень [69–73] мають недосконалість та деякі похибки створених різних конфігурацій камер вогневих печей, тому для виконання більш достовірних досліджень теплового впливу пожежі на залізобетонну будівельну конструкцію доцільно визначити конфігурацію камери вогневої печі, яка здатна відтворювати температурний режим пожежі та виконати обчислювальний експеримент, щоб перевірити, чи коректно працює вогнева установка.

З огляду на це, щоб виконати реальні вогневі випробування, передбачено побудову запроєктованої камери вогневої печі, що здатна забезпечувати рівномірне температурне розподілення на обігрівній поверхні та у камері вогневої печі.

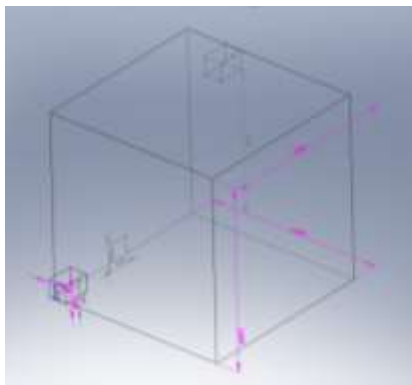
Для дослідження теплового впливу пожежі на обігрівній поверхню несучих стін було змодельовано 3 комп'ютерні конфігурації, які будуть відтворювати умови нагрівання несучих залізобетонних стін за стандартним температурним режимом пожежі.

В роботі [71] системою автоматизованого проєктування було спроектовано три конфігурації камер вогневих печей з різними габаритами

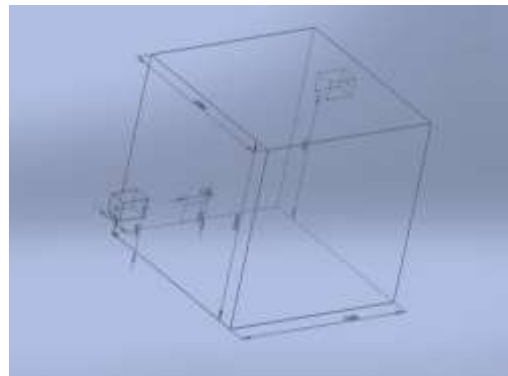
самої вогневої печі, отворами для встановлення пальників та отвором для видалення продуктів горіння. За допомогою кольорів у SolidWorks умовно було розмежовано елементи конструкції печі, які будуть випробовувати.

Геометричні конфігурації вогневих печей зображені на рис. 2.10., а габаритні розміри камер зазначені в табл. 2.3.

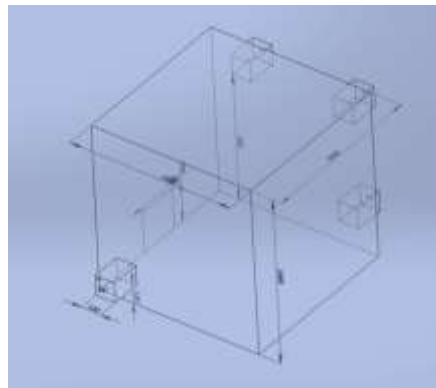
На рис. 2.10. показано геометричні параметри створених конфігурацій камер печей, для дослідження теплового впливу пожежі на обігрівний поверхню несучих залізобетонних стін.



Конфігурація А – *а*



Конфігурація Б - *б*



Конфігурація В - *в*

Рисунок 2.10. Геометричні параметри конфігурацій камер печей для дослідження умов нагрівання несучих залізобетонних стін за стандартним температурним режимом пожежі: *а* – конфігурація А, *б* – конфігурація Б, *в* – конфігурація В

В конфігурації «А» (рис. 2.10, *а*) габаритні розміри камери вогневої печі – 1 200 мм×1 200 мм., кількість отворів для встановлення пальників – 2, отвір для відведення продуктів горіння розмірами 125 мм×100 мм.

В конфігурації «Б» (рис. 2.10, *б*) змінено розміри та розташування отворів для пальників, а отвір для видалення продуктів горіння та габаритні розміри камери вогневої печі залишено.

Конфігурація «В» (рис. 2.10, *в*) створена з мінімально можливим розміром камери печі та забезпечує вимоги [1], а саме не менше 0,8 м глибина вогневого простору печі. Збільшено кількість отворів для встановлення пальників, отвір для відведення продуктів горіння розміром 125 мм×100 мм, що дає змогу досліджувати основні види залізобетонних будівельних конструкцій, таких, як плита, стіна, балка чи колона.

Таблиця 2.3 – Габаритні розміри конфігурацій камер печей для дослідження теплового впливу пожежі на обігрівній поверхню залізобетонних будівельних конструкцій

Назва камери печі	Розміри камери печі, мм			Кількість пальників у камері печі	Кількість отворів для відведення продуктів горіння	Кількість отворів для пальників
	ширина	висота	глибин а			
Конфігурація А	1200	1200	1200	2	1	2
Конфігурація Б	1200	1200	1200	2	1	2
Конфігурація В	1000	1000	1000	2	1	4

Загальний вигляд сіткової та математичної моделі камери вогневої печі зображено на рис. 2.11.

Створення сіткової моделі печі є одним із основних принципів побудови математичної моделі, для їх побудови за встановленими розмірами необхідно зазначити кількість комірок та створити сітку по координатам X, Y, та Z.

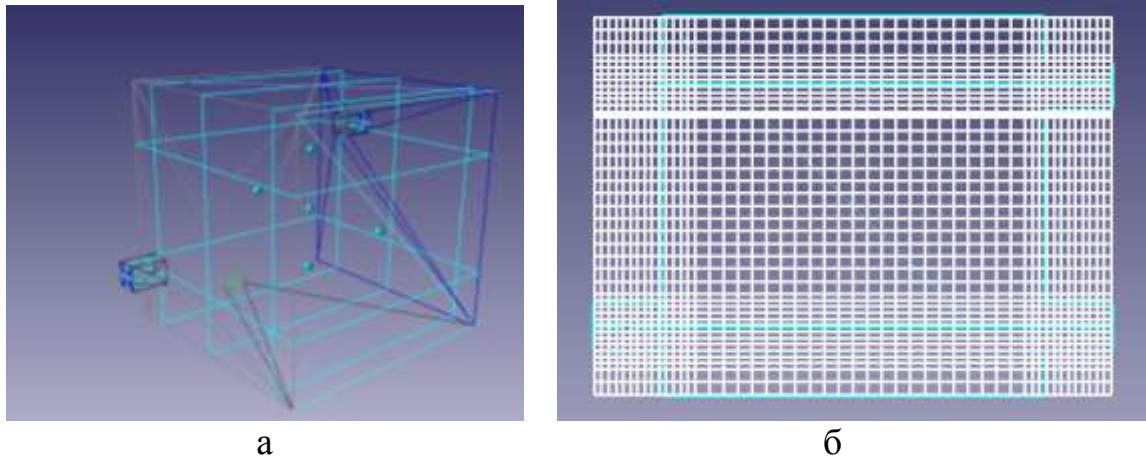


Рисунок 2.11. Загальний вигляд *а* –математична модель камери печі;
б –сіткова модель розрахункової області конфігурацій камер вогневих печей.

Відповідно габаритів камери печі для вимірювання температури та вимог [1] встановлено відповідну кількість датчиків контролю температури у камері печі та на обігрівній поверхні, які представлені на рис. 2.12. Для наочності, з урахувань можливостей програмного комплексу FlowVision, додатково були створені площини, які графічно, відображають розподіл температур, рис. 2.13.

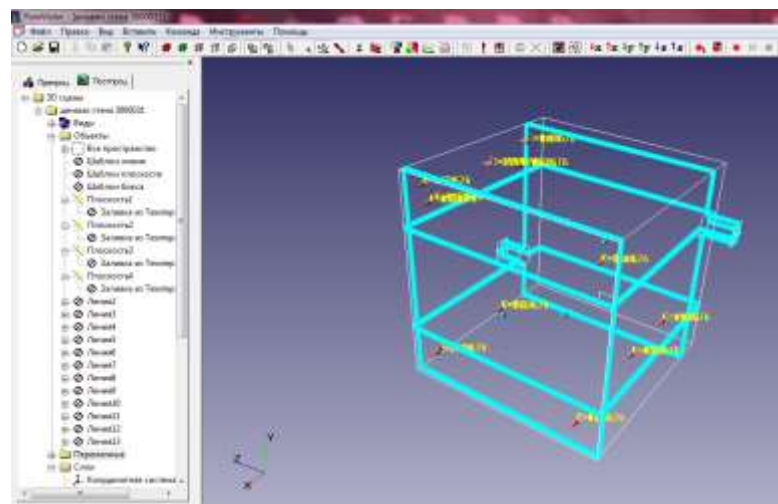


Рисунок 2.12. Розташування в Конфігурації Б датчиків контролю температури
у камері вогневої печі

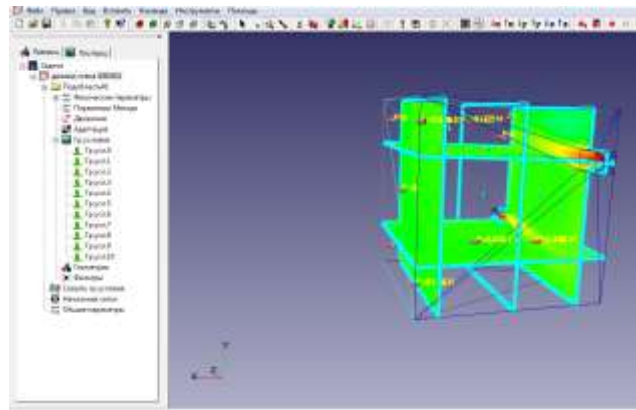
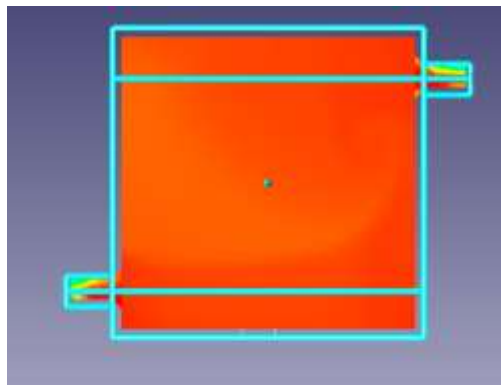
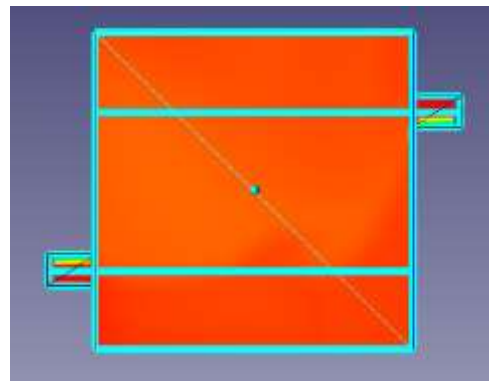


Рисунок 2.13. Конфігурація Б, розташування температурних площин у камері вогневої печі

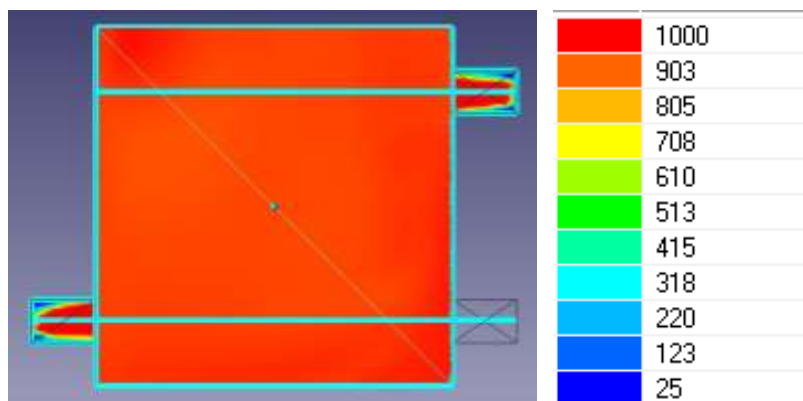
На рис. 2.14 заливкою кольорів (градієнт температур) відображено розподілення температур по поверхні конструкцій у кожній із змодельованих конфігурацій на 60-ій хвилині випробувань.



Конфігурація А – а



Конфігурація Б – б



Конфігурація В – в

Рисунок 2.14. Градієнт температур змодельованих конструкцій у кожній з конфігурацій на обігрівній поверхні: а – Конфігурація А, б – Конфігурація Б, в – Конфігурація В, г – відповідно до кольору температурні межі °С

З проведених досліджень можна зробити висновок, що основними недоліками Конфігурації А (рис. 2.10, *а*, рис. 2.15, *а*) порівняно з іншими конфігураціями вогневої печі габарити камери вогневої печі, отвір для відведення продуктів горіння, розмір та розташування отворів для пальників є недосконалими.

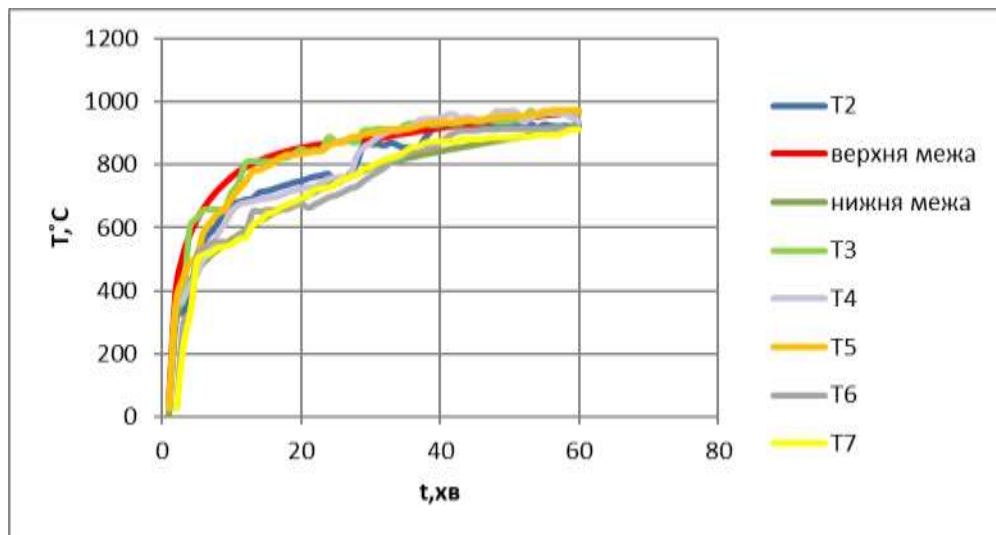
Після внесення корективів до Конфігурації А, температура у Конфігурації Б (рис. 2.10, *б*) по обігрівній поверхні несучої стіни більш рівномірно розподілилась (рис. 2.15, *б*), але існують місця, де конструкція прогрівається більш сильно.

У Конфігурації В (рис. 2.10, *в*) збільшивши отвір для відведення продуктів горіння, а простір камери печі зменшивши, отримано найбільш рівномірне розподілення температур (рис. 2.15, *в*) порівняно з Конфігураціями Б та А [70, 71].

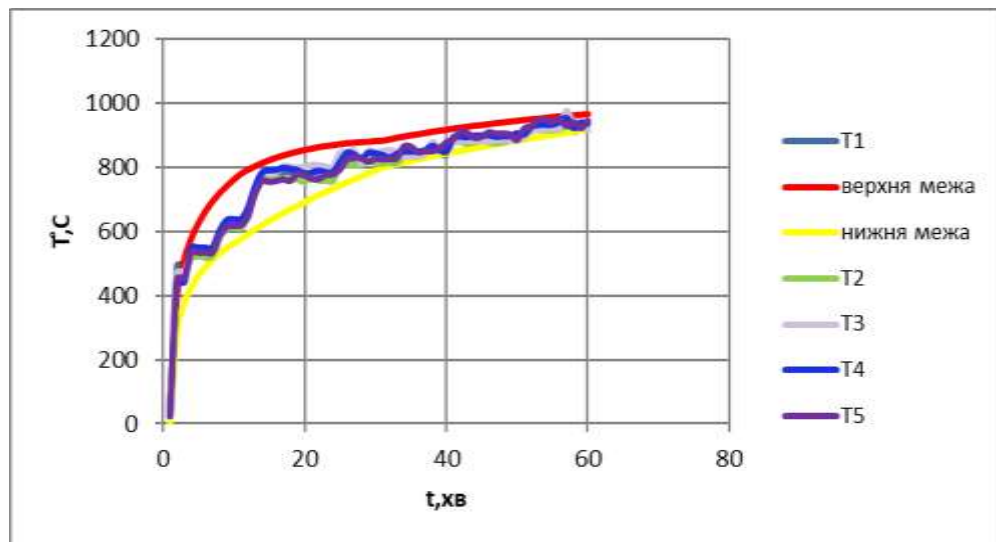
Варто зазначити, що в реальних випробуваннях у камері вогневої печі якщо такі ж габарити, витрачається менше палива для прогрівання камери вогневої печі, а також навколишнє середовище забруднюється менше, вона прогрівається швидше, зменшуються праце - та фінансові витрати. Також ця вогнева установка забезпечує температурний режим пожежі, який відповідає стандартному.

Як видно з рис. 2.15. у всіх конфігураціях можна спостерігати коливання температури, але вони незначні. Всі створені конфігурації камер печей відповідають вимогам [1], відповідно до отриманих результатів, лише конфігурація «В» здатна створити відповідний температурний режим.

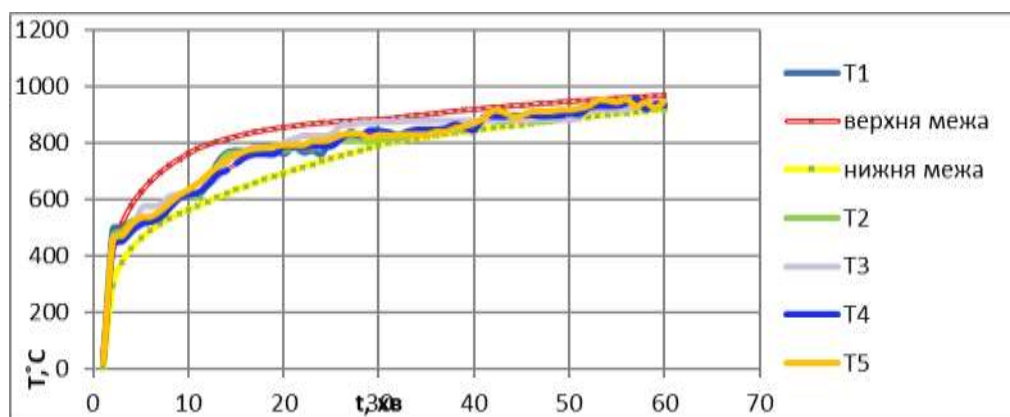
Відповідно до виконаного дослідження було розраховано температуру у камері печі та на обігрівній поверхні несучої залізобетонної стіни, відповідно до отриманих даних датчиків контролю температури, результати представлені на рис. 2.16. у вигляді графіка.



а



б



в

Рисунок 2.15. Дані термодатчиків, які встановлені на обігрівній поверхні несучої залізобетонної стіни: а – Конфігурація А, б – Конфігурація Б, в – Конфігурація В

Відповідно до отриманих показників даних термопар, які встановлені на обігрівній поверхні несучої залізобетонної стіни, можна констатувати наступне:

- максимальна температура на обігрівній поверхні несучої залізобетонної стіни на 9-ій хвилині досягла 658 °С, а середня температура в цей момент часу становила 620 °С і була стабільною впродовж 15 хвилин;
- було збільшено подавання палива з 27 хвилини від початку дослідження, внаслідок цього середнє значення температури зросло майже до 935 °С та до закінчення обчислювального експерименту було стабільним;
- змодельоване дослідження засобами комп'ютерної газогідродинаміки температурного впливу пожежі на обігрівну поверхню несучої залізобетонної стіни та зростання температур у камері вогневої печі відповідало стандартній температурній кривій пожежі [71].

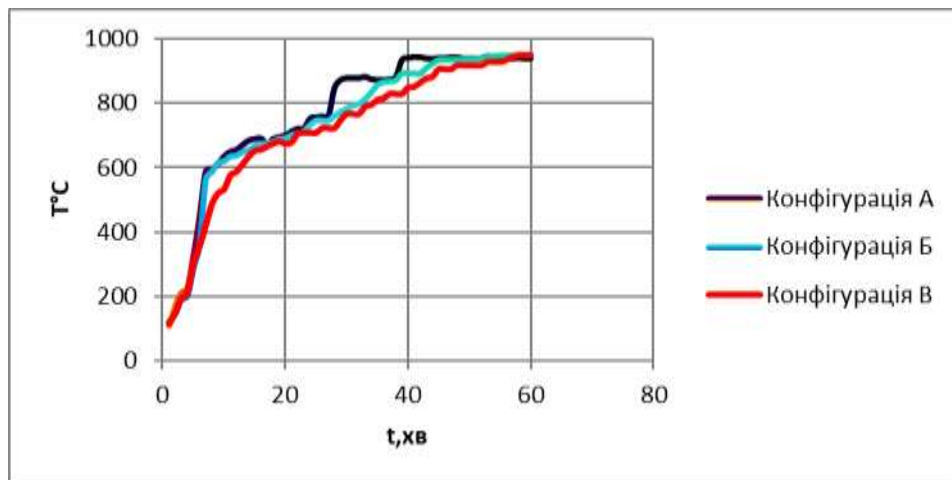


Рисунок 2.16. Середня температура по всіх місцях контролю температури у камері печі

Було отримано наступні дані термопар, відповідно до виконаного дослідження, які представлені на рис. 2.15 – 2.16. Рівномірний розподіл температур відбувається по всій обігрівній поверхні несучої залізобетонної стіни та площі печі. Через можливість змінювати початкові дані та відповідні габарити камери вогневої печі подавання газу для нагрівання камери та

подавання повітря температурний режим, що створюється в печі, відповідає стандартному температурному режиму пожежі [1].

Виконане дослідження демонструє здатність забезпечувати рівномірне розподілення температур на обігрівній поверхні несучої залізобетонної стіни та у камері вогневої печі за допомогою програмного комплексу FlowVision, та результати чисельного моделювання трьох конфігурацій камер вогневих печей з різними параметрами.

1. Математичний апарат програмного комплексу FlowVision забезпечує відтворюваність необхідного температурного режиму пожежі, прогрівання внутрішнього простору камери печі та дозволяє виконувати дослідження теплового впливу пожежі на обігрівній поверхні залізобетонних будівельних конструкцій.

2. Досліджено камери печей розміром 1 м 20 см×1 м 20 см×1 м 20 см – Конфігурація А та Б, встановлено, що камера печі Конфігурація В 1м×1м×1м – здатна забезпечити стандартний температурний режим пожежі.

3. На обігрівній поверхні несучої залізобетонної стіни Конфігурації В, на 9-тій хвилині, досягла максимальної температури 658 °С, а середня температура в цей момент часу становила 620 °С.

4. Відповідно до виконаного дослідження відбувається рівномірний розподіл температур по всій площі у камері печі Конфігурації В, а максимальна температура в камері вогневої печі досягнула 951 °С.

2.6. Розроблення концепту удосконаленої малогабаритної вогневої установки та описування її можливих параметрів

У попередніх підрозділах 2.4 – 2.5 було досліджено та обрано за основу камеру вогневої печі, яка здатна забезпечити стандартний температурний режим пожежі, встановлено її габарити, параметри отвору для відведення продуктів горіння та отвори для пальників, їхнє розташування та розміри.

На основі виконаного дослідження існує необхідність створити ескіз малогабаритної вогневої установки.

На рис. 2.17. – 2.18. продемонстровані основні конструкторські рішення.

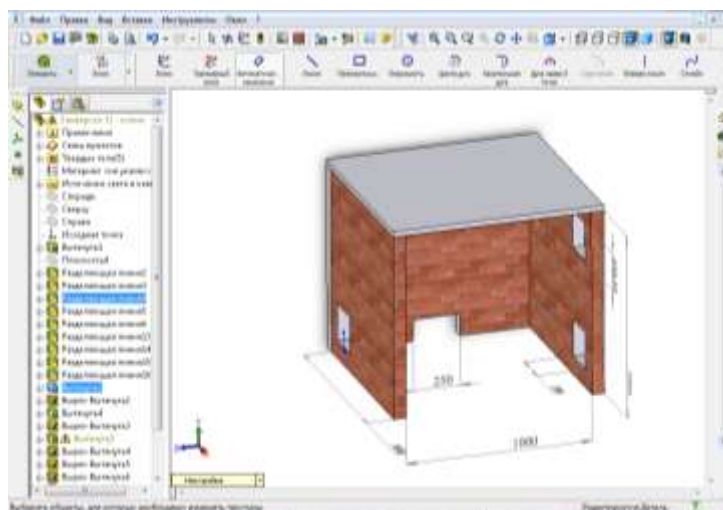
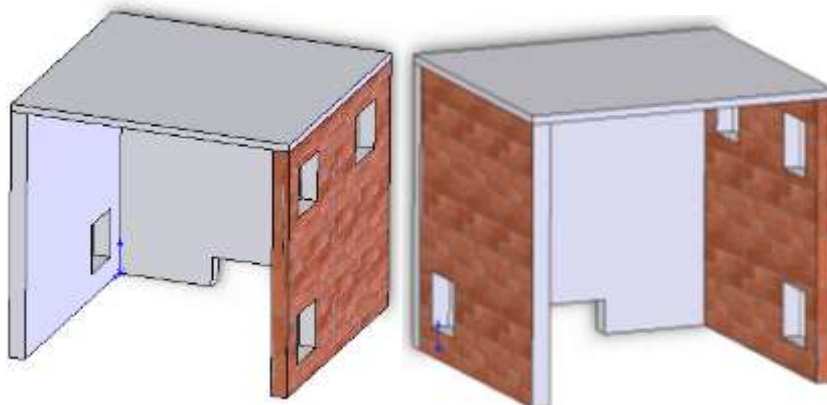


Рисунок 2.17. Ескіз камери вогневої печі

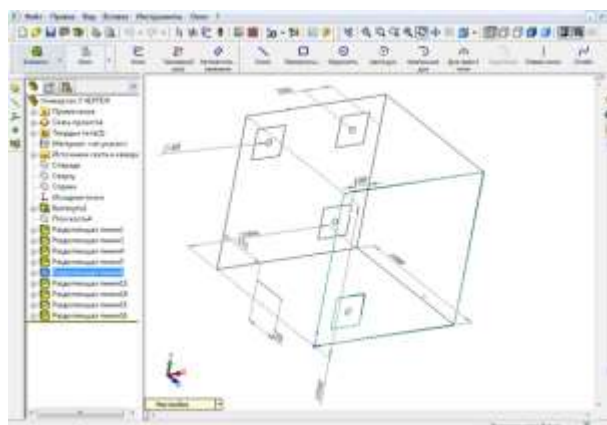


Рисунок 2.18. 3-D вигляд камери печі запроектованої установки з зазначеними розмірами (мм)

Згідно з нормами [1] мінімальна висота і ширина вертикальної будівельної конструкції – 3 м відповідно до мінімальної висоти і ширини камери вогневої печі. Глибина внутрішнього простору печі повинна бути не менше за 0,8 м. Товщина футеровки печі повинна бути не меншою за 0,05 м, а матеріал з якого вона створена повинен забезпечувати достатню термоізоляцію камери.

Відповідно до раніше змодельованої камери вогневої печі розроблено ескіз прототипу вогневої печі розміром 1,5 м×1,5 м× 1,2 м, внутрішній простір камери кубічної форми зі стороною, що дорівнює 1 м, це забезпечує мінімальну необхідну відстань від факела полум'я.

Місце розташування випробувальної установки – навчальний комплекс практичної підготовки фахівців оперативно-рятувальної служби цивільного захисту ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України (с. Свидівок Черкаського району Черкаської області).

Для будівництва вогневої установки необхідно обрати вогнетривку цеглу, яка не руйнується під впливом високих температур. Було проаналізовано види шамотної цегли, яка має пористу поверхню, її виготовляють на основі шамотного порошку, порошоків коксу та графіту, а також зерен кварцу.

Шамотна цегла має температуру початку деформації 1 300°C, Жароміцність вогнетривкої цегли забезпечена алюміній оксидом. Ця хімічна сполука надає цеглі пористості та за рахунок цього робить цеглу хорошим провідником тепла. Чим більше пор в структурі цегли, тим довше вона нагрівається та охолоджується.

Для мурування такою цеглою використовують спеціальний вогнетривкий розчин на основі жароміцної глини – «мертель».

У випадку частого будівництва застосовують цеглу марок ША та ШБ. Вона найкраще за інших підійде для будівництва печей та камінів. Серед найбільш популярних марок цегла ША-5 має показник вогнетривкості від

+1690°C. Шамотна цегла ША-8 за такого ж показника пористості має аналогічний бар'єр в +1 650°C.

Проаналізувавши види шамотної цегли, було обрано шамотну цеглу із нижче зазначеними характеристиками: таблиця 2.4.

Таблиця 2.4 – Характеристики шамотної цегли, яку буде використано у будівництві камери вогневої установки.

Опис продукту	Параметри	Одиниці виміру
Сировинна база	Андалузит	
Хімічний аналіз		
Al ₂ O ₃	59-63	(масова частка %)
SiO ₂	34-38	(масова частка %)
Fe ₂ O ₃	1,0	(масова частка %)
Фізичні властивості		
Щільність, що здається	2,60-2,75	(г/см ³)
Відкрита пористість	11-14	(% об.)
Межа міцності у разі стискання вогнетривкості під навантаженням	70	(Н/мм ²)
t (початкова)	1700	(°C)
t (кінцева)	>1700	(°C)
Конус Зегера (піроскоп)	40	
Стійкість до змін температури t	100	(циклів), (950 °C/повітря)
	Термічне розширення	Теплопередача
°C	(%)	(Вт/м*K)
300	0,1	1,7
700	0,4	1,7
1000	0,7	1,6
1200	0,9	1,6

Отвори для пальників у кількості 4 шт., 1 розташований у нижньому положенні з лівої сторони та 3 отвори з правої сторони п-подібного огороження печі, 2 з яких у нижньому положенні камери печі. Під час дослідження теплового впливу пожежі на залізобетонну конструкцію, а саме

стіну використовують тільки 2 отвори, інші два отвори закупорюють мінеральною ватою. Залежно від виду будівельної конструкції, місце розташування пальників можливо змінювати.

Для відведення димових газів з робочого простору та видалення їх за межі печі є устаткування для створення тяги, яка може бути природньою за рахунок встановленого димаря або примусовою, яка створюється за допомогою вентиляторів, інжекторів або димососів.

Отвір для відведення продуктів горіння розміром 125 мм×100 мм.

Димохід камери вогневої печі має дві частини: цегла в один ряд та вбудована сталева труба з товстостінного чавунного металу 10 мм та діаметром 200 мм., яка витримує до 1 000° С та легка для монтажу. Ця труба врізається у витяжну систему побудованої поруч будівлі.

Ескіз вогневої установки включає в себе: 2 знімні панелі розміром 1,2 м ×1,2 м, які складаються з металевого каркасу, який заповнений мінеральною ватою, та двох магнезитових листів з обох сторін панелі.

Металевий каркас з'ємних панелей з чорного металу, який містить залізо та сплави на його основі. Такі метали є щільні, мають високу температуру плавлення та високу твердість.

Важливою характеристикою мінеральної вати є її вогнестійкість. Волокна, які виготовлені з натуральних гірських порід, під дією температури в 1 000°С починають плавитися тільки через 2 години.

Мінеральну вату використовують жорстку — застосовується для теплоізоляції контурів конструкцій, яка легко витримує помірні навантаження та виготовлена у вигляді плит зі щільністю 90 кг/ куб. м.

Проаналізувавши характеристики низки різних магнезитових плит див. табл. 2.5., які на момент створення ескіза та будівництва вогневої установки відповідали будівельним нормам, було використано плити характеристики якої задовольняли вимоги до вогнезахисної здатності.

Таблиця 2.5 – Характеристики магnezитових плит

Довжина, мм	2 400/1 200	2 400/1 200	2 400
Ширина, мм	1 200/600	1 200/600	1 200
Товщина, мм	8, 10, 12	8, 10, 12	10, 12
Щільність, кг/м ³ , в межах	750...850	900...1000	1000...1200
Міцність на згин, МПа, не менше	5,5	7,5	7,5
Температура °С	1 200 °С, тривалістю до двох годин	1 200 °С, тривалістю до двох годин	1 200 °С, тривалістю до двох годин

Відповідно до [1] температурний режим у печі повинен забезпечуватись спалюванням рідкого палива.

Відповідно до [74] установка для випробування має бути розрахована на споживання рідкого або газоподібного пального.

Горіння газоподібного палива належить до типу гомогенних реакцій. Для підтримання процесу горіння необхідно постійний доступ кисню та подачі горючої речовини. Для цієї мети та для утворення суміші газу з окисником, у випадку з газоподібним паливом, використовують газопальники різноманітних конструкцій [75].

В роботах [76, 77] зазначено, що для процесу горіння необхідно, щоб сталася хімічна реакція окислення горючих складових за рахунок того, що горючий газ буде змішаний з повітрям. Повний час згорання палива, у загальному випадку має дві частини: часу перебігу хімічної реакції та часу протягом якого досягається контакт окисника з горючою речовиною. За принципом спалювання газу всі пальники ділять на три групи рис. 2.19.

Дифузійний принцип спалювання рис. 2.19., а: спалювання відбувається без попереднього змішування повітря з газом. У цьому випадку на доставку окисника до горючої речовини витрачається набагато більше часу, чим на перебіг хімічної реакції.

Час перебігу процесу визначається часом сумішоутворення і відбувається в дифузійній області горіння. За умови розділеного подавання в

робочий простір горючого газу і повітря їхнє змішування відбувається за рахунок взаємної дифузії. Зазвичай спалювання палива за дифузійним принципом застосовують у високотемпературних установках з температурою в діапазоні 1 100...1 200 °С.

За таких температур час підведення кисню до палива значно більший час для здійснення самої реакції горіння, а швидкість хімічних реакцій велика. Тому швидкість перемішування палива і повітря є визначним чинником горіння, а факел обмежено поверхнею, на якій закінчується підмішування повітря з паливом до стехіометричного співвідношення складу суміші.

Процес змішування палива і повітря може відбуватися в ламінарній і турбулентній областях течії. У випадку ламінарного режиму змішування лімітується молекулярною дифузією, у випадку турбулентного – турбулентною дифузією [75].

За рахунок турбулентної дифузії і тонкого перемішування на молекулярному рівні в печах здійснюється перемішування одночасно відносно великих об'ємів [75].

Для кінетичного принципу спалювання (рис.2.19, б) характерно подавання в робочий простір через пальник однорідної горючої суміші, заздалегідь перемішаної. Оскільки сумішоутворення завершується практично до печі, то повний період згорання газу визначається швидкістю перебігу реакції. Як правило, факел полум'я за кінетичного спалювання виходить мінімальним – безполуменеве спалювання [75].

Змішаний принцип спалювання (рис. 2.19., в) полягає в подаванні, заздалегідь перемішаного з частиною повітря, необхідного для горіння (первинного повітря) горючого газу, з роздільним підведенням у піч іншої частини повітря (вторинного повітря). Відповідно утворюється два фронти горіння: дифузійний і кінетичний. Швидкістю повільнішого етапу визначають повний час згорання палива.

Таким чином, визначальним чинником є організація та якість сумішоутворення, у випадку спалювання газоподібної суміші.

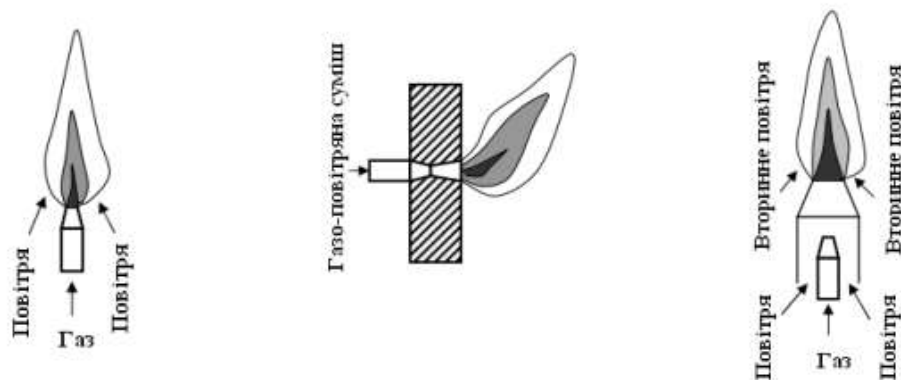


Рисунок 2.19. Принципи спалювання газу: а) дифузійний; б) кінетичний; в) змішаний [75]

Для виконання вогневого випробування вирішено використовувати газ, тому що це більш екологічно чисте паливо, яке містить набагато менше шкідливих речовин, у тому числі CO_2 (майже у два рази менше) [75].

Подавання газу відбуватиметься за допомогою двох газових балонів з встановленими редукторами на кожен балон. Регулятор має манометр, який показує поточний тиск в балоні, та запобіжний клапан, який спрацьовує у випадках, коли газовий пристрій має більший рівень споживання газу, ніж може витримати регулятор, або проривається труба. Застосування манометра спрямоване на перевіряння герметичності установки. Газові балони будуть встановлені на безпечну відстань від вогневої установки [79].

Пристрої, які застосовують для спалювання газоподібного палива – газові пальники. Призначення газового пальника [75]:

- підготувати суміші газу і повітря;
- подавати газоповітряну суміш у робочий простір в заданому напрямі;
- забезпечувати займання газоповітряної суміші за усіх навантажень;
- створювати факел необхідної довжини та випромінювальної здатності;
- створювати необхідну інтенсивність горіння;
- забезпечувати повне згорання палива.

Виконання вище перерахованих вимог можливе тільки за умови правильного поєднання пальників із камерами згорання (робочим простором).

Утворення горючої суміші у пальниках (рис. 2.20.) реалізується одним із способів [75]:

1. Зовнішнє змішування газу та повітря (рис. 2.20., *а*), коли в робочий простір надходять роздільні потоки газу та повітря, а утворення горючої суміші відбувається за межами пальника в об'ємі полум'я – в робочому просторі. За таким способом працюють дифузійні пальники, розраховані на спалювання із дуже довгим факелом. Під час спалювання палива, яке містить вуглеводні, утворюється добре видиме полум'я.

2. Кінетичне (рис. 2.20., *б, в*) коли в пальнику часткове змішування компонентів горіння, яке відбувається в об'ємі факелу після виходу суміші у камеру згорання. На цьому принципі влаштовані пальники змішування, які залежно від якості змішування мають меншу або більшу довжину факелу.

3. Часткове внутрішнє змішування (рис. 2.20., *г*) – це коли з пальника надходить газоповітряна суміш, яка містить частину повітря, необхідного для повного згорання, та інше (вторинне) повітря, яке підводиться до факелу з атмосфери, яка оточує полум'я, або подається від вентилятора [75].

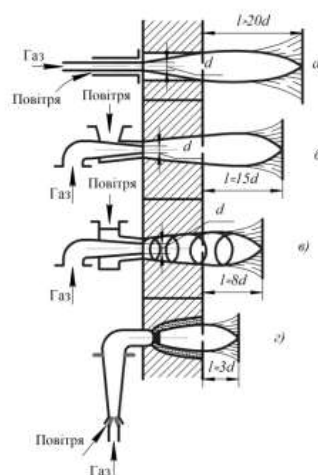


Рисунок 2.20. Рух суміші в пальниках: *а* – дифузійний пальник; *б* – довгофакельний пальник; *в* – короткофакельний турбулентний пальник; *г* – безфакельний інжекційний пальник [75]

Іноді пальники класифікують по довжині факела:

- довгофакельні;
- короткофакельні;
- безфакельні.
- Іншими ознаками класифікації газових пальників є:

1. Тиск газу:

- низького тиску – до 5 кН/м²;
- середнього тиску – 5...300 кН/м²;
- високого тиску – понад 300 кН/м².

2. Ступінь очищення газу:

- для очищеного газу;
- забрудненого газу.

3. Підігрівання компонентів горіння.

4. За матеріалом, який використаний для виготовлення:

- металеві;
- керамічні;
- цегляні.

Для твердого і рідкого палива нижчу теплоту згорання визначають за формулою Д. І. Менделєєва [78]:

$$Q_{\text{в}}^{\text{р}} = 0,339 C^{\text{р}} + 1,03 H^{\text{р}} - 0,109(O^{\text{р}} - S^{\text{р}}) - 0,25 W^{\text{р}}, \text{ кДж/кг.} \quad (2.2)$$

Для газоподібного палива нижча теплота згорання:

$$Q_{\text{в}}^{\text{р}} = 0,127 \text{ СО} + 0,108 \text{ Н}_2 + 0,234 \text{ Н}_2\text{S} + 0,357 \text{ СН}_4 + \Sigma Q_{100} \text{ С}_{\text{м}}/\text{Н}_{\text{н}}, \quad (2.3)$$

$$\text{С} = \text{C}_3\text{H}_8, \quad (2.4)$$

$$[\text{C}] = 36 \times 100\% / 44 = 81,8, \quad (2.5)$$

$$[\text{H}] = 8 \times 100 / 44 = 18,2, \quad (2.6)$$

$$Q_{\text{в}}^{\text{р}} = 339 \times 81,8 + 1257 \times 18,2 = 50607,6 \text{ кДж/кг} = 50 \text{ МДж/кг} \quad . \quad (2.7)$$

Виділення енергії на одиницю маси кисню:



$$M(\text{C}_3\text{H}_8) = 12 \times 3 + 8 \times 1 = 44 \quad (2.9)$$

Для згорання 44 кг C_3H_8 необхідно 320 кг O_2 :

$$50607,6 \times 44 \text{ кг} / 320 \text{ кг} = 6958,5 \text{ кДж/кг} \times \text{O}_2 \quad (2.10)$$

Щоб зберігався температурний режим, час розрахунку дорівнює 60 хвилин.

Максимальна температура горіння 2 500 °С.

Пропан-бутан до 2 000 °С.

Проаналізувавши види палива, пальників та їхній принцип роботи, було обрано пальник газоповітряний з довжиною пальника 715 мм, діаметром сопла 76 мм, тип ГП (44-5018).

2.7. Висновки до розділу

За результатами досліджень, виконаних у цьому розділі, було обґрунтовано та розроблено універсальну малогабаритну вогневу установку для дослідження теплового впливу пожежі на будівельні конструкції на базі навчального комплексу практичної підготовки фахівців оперативно-рятувальної служби цивільного захисту ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, що дозволило сформулювати наступні висновки.

1. Проаналізовано характеристики матеріалів, з яких можливо виготовляти малогабаритні установки. Зокрема розглянуто можливість використання шамотної цегли (вид – ША-5), яка підходить для будівництва

камери вогневої установки. Запропоновано низку перспективних матеріалів, які можливо використовувати як в'язучі, облицювання печі та ущільнення отворів з метою герметизації камери.

2. В процесі досліджень засобами 2-ох програмних комплексів FDS та FlowVision, змодельовано конфігурації камер вогневих установок, які мають найменш можливі розміри внутрішнього простору камери печі від 1 м^3 до 2 м^3 , дають можливість використовувати 2 пальники, відстань до яких має бути від 0,8 до 1 м, а також можуть забезпечувати універсальність для дослідження теплового впливу на основні типи залізобетонних будівельних конструкцій. Загалом доцільно передбачати додаткові отвори, це забезпечить універсальність вогневої установки та дасть можливість випробувати інші види будівельних конструкцій.

3. Встановлено, що для зниження відтоку тепла під час досліджень, а як наслідок для підвищення ефективності згоряння газу у камері, доцільно виконувати димар камери з двох частин: цегла в один ряд на висоту камери печі з подальшим переходом у сталеву трубу з товстостінного металу 10 мм та діаметром 200 мм, що здатна витримувати $1\,000^\circ\text{C}$ без деформування.

4. Для виконання дослідів з нагрівання несучих стін можлива відсутність передньої стінки камери установки, до якої встановлюють фрагмент будівельної конструкції. Проте, для забезпечення універсальності виконання досліджень з нагрівання інших типів будівельних конструкцій у камері вогневої установки необхідна відсутність і верхньої частини. Для забезпечення герметизації під час випробувань необхідно передбачати дві знімні панелі розміром $d+0,2 \text{ м} \times d+0,2 \text{ м}$. Імперицим шляхом встановлено, що знімні панелі мають бути з утеплювача та ізоляційного вогнетривкого матеріалу, наприклад, магнезитових листів, нержавіючого металу з обох сторін панелі.

5. Розраховано, що подавання газу відбуватиметься за допомогою щонайменше двох газових балонів зі встановленими редукторами на кожен балон, до яких приєднано 2 газові пальники. У разі використання меншої

кількості балонів можливе їхнє обмерзання та зниження інтенсивності подавання палива, що не дасть змоги відтворити стандартний температурний режим пожежі. Газові балони необхідно встановлювати на безпечну відстань від вогневої установки [79].

6. Як пристрій для подавання та спалювання газоподібного палива запропоновано та застосовано газовий пальник з довжиною пальника 715 мм, діаметром сопла 76 мм, тип ГП (44-5018). Під час перших запусків було підтверджено ефективність його використання.

7. За результатами розділу було створено передумови для розроблення удосконаленої методики виконання експериментальних досліджень з нагрівання фрагментів несучих залізобетонних стін за допомогою малогабаритної вогневої установки на базі навчального комплексу практичної підготовки фахівців оперативно-рятувальної служби цивільного захисту ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України.

РОЗДІЛ 3. ОСОБЛИВОСТІ МЕТОДИКИ ВИКОНАННЯ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДОСЛІДЖЕНЬ З НАГРІВАННЯ ФРАГМЕНТІВ НЕСУЧИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ СТІН

3.1. Експериментальне обладнання та процес створення малогабаритної вогневої установки

За кордоном у сфері пожежної безпеки, у міжнародному стандарті [3] та у європейському стандарті [74] та для визначення межі вогнестійкості будівельних конструкцій застосовано метод виконання випробувань, який полягає у визначенні проміжку часу від початку виконання випробування до настання одного з нормованих для такої конструкції граничних станів вогнестійкості в умовах стандартного температурного режиму пожежі [81].

Використовуючи опрацьований матеріал у розділі 2 та проаналізувавши літературні джерела [82 – 86], встановлено, що можна виконувати дослідження на визначення вогнестійкості будівельних конструкцій стандартного розміру в існуючих великогабаритних печах. Відносно ефективності дослідження в таких вогневих печах, вони мають істотний недолік: випробування у них неекологічні, коштовні, та трудомісткі.

Впроцесі нагрівання було досліджено зміну температури по товщині стінової конструкції, за допомогою вогневої установки для теплофізичних випробувань малогабаритних фрагментів залізобетонних будівельних конструкцій та окремих вузлів їхніх стикових з'єднань [87] та за ознакою втрати теплоізолювальної здатності встановлено межу вогнестійкості. Але, конструкція вогневої установки, для нагрівання камери, передбачає використання лише одного пальника, що може впливати на рівномірність прогрівання досліджуваних конструкцій. Крім того, така піч працює на рідкому паливі та може бути застосована лише для випробування стін. Це водночас говорить про недосконалість конструкції.

В Україні нині діє стандарт [1], в якому визначені вимоги щодо засобів, способів та методики виконання випробування з оцінювання вогнестійкості залізобетонних будівельних конструкцій. На думку дослідників [82-86] стандарт дещо застарів та потребує перегляду. Проте, нині вимоги, зазначені у ньому, є обов'язковими для виконання випробувань на оцінювання вогнестійкості. Недоліком зазначеного є те, що: нерівномірність температурного поля не контролюється як фактора, що впливає на фрагмент у камері печі, відповідно контроль якості випробувань є недостатній. Водночас різниця температур в 100 °С і більше в камері печі під час виконання випробувань однорідних фрагментів залізобетонної конструкції призводить до встановлення різних меж їхньої вогнестійкості (різниця може бути десятки хвилин) [88, 89]. Цієї особливості не враховує установка, описана в [82].

Перед тим, як створити випробувальну установку, було виконано більше 30 спроб моделювання її різних конфігурацій: змінювалися габарити камери вогневої установки, які мали бути за задумом мінімальними, але достатніми для подальшого аналізу теплового впливу пожежі на конструкції, розташування та кількість отворів для відведення продуктів горіння, для пальників та розташування самих пальників.

Після було обрано конфігурацію установки, в якій температура рівномірно розподілилась по обігрівній поверхні всіх 4-ох видів досліджуваних фрагментів та давала змогу у камері печі створити необхідний температурний режим, а також виконувала основні вимоги нормативних документів.

На основі змодельованої конфігурації створено схему випробувальної установки для дослідження теплового впливу пожежі на будівельні конструкції, яка відображена на рис. 3.1.

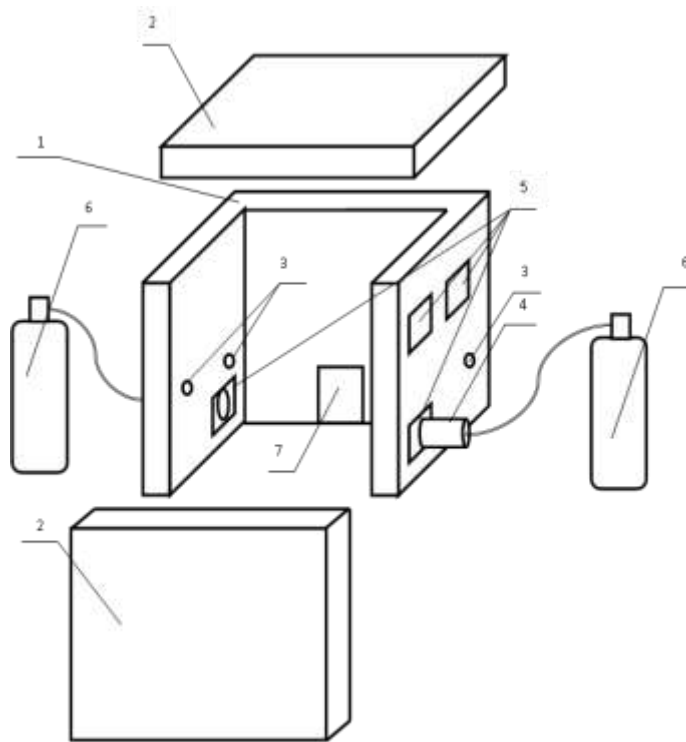


Рисунок 3.1. Малогабаритна вогнева установка для дослідження теплового впливу на несучі залізобетонні стіни: 1 – п-подібне огородження печі; 2 – знімні панелі; 3 – отвори для встановлення датчиків контролю температури; 4 – пальники; 5 – отвори для встановлення пальників; 6 – газовий балон з регулювальним апаратом; 7 – отвір для відведення продуктів горіння

Як видно з рис. 3.1., малогабаритна вогнева установка має 4 отвори для пальників, 2 газові балони з регулювальним апаратом, 2 знімні панелі, отвір для відведення продуктів горіння.

Провівши літературний аналіз та розробивши схему вогневої установки для виконання вогневих випробувань розпочато будівництво вогневої установки для дослідження теплового впливу пожежі на будівельні конструкції.

Етапи створення малогабаритної вогневої установки для дослідження теплового впливу на малогабаритні фрагменти несучих залізобетонних стін [90]:

1. Заливка фундаменту під камеру вогневої установки: вирито котлован для основи під камеру вогневої установки, сконструйовано та встановлено

опалубку, вирівняно та укладено піщано-щебеневий шар, встановлено плиту та залито її рідкою цементною сумішшю, рис. 3.2.



Рисунок 3.2. Створення фундаменту, як основи під камеру вогневої установки [90]

На рис. 3.2. відображено виритий котлован розміром 1,6 м×1,6 м, який записано щебнем фракцією 5 – 10 мм та встановлено залізобетонну плиту 1,2 м×1,2 м та залито рідкою цементною сумішшю врівні із залізобетонною плитою.

2. Вогневу установку побудовано з вогнетривкої цегли, яка відповідає нормам [6] та забезпечує достатню термоізоляцію камери, оскільки у камері вогневої печі температура буде досягати 1 000 °C, вирішено зробити низ камери вогневої печі з вогнетривкої цегли, для того щоб збільшити термічну стійкість печі, рис. 3.3.



Рисунок 3.3. Піддон камери вогневої установки з вогнетривкої цегли

Піддон камери вогневої установки розміром 1,2 м×1,2 м з вогнетривкої цегли.

3. Для створення малогабаритної універсальної вогневої установки для дослідження вогневого впливу на основні типи залізобетонних будівельних конструкцій прийнято конструкторське рішення, а саме: у камері вогневої установки зробити 4 отвори для пальників. Також зроблено 1 отвір для відведення продуктів горіння розміром 125 мм×100 мм, рис. 3.4.



Рисунок 3.4. Отвори для встановлення пальників, один з лівої сторони п-подібного огородження печі та 3 з правої, та отвір для відведення продуктів горіння

Під час виконання експериментального дослідження з прогрівання стіни чи плити використовуємо тільки 2 отвори з 4, а 2 інші закриваємо мінеральною ватою, що забезпечує ізоляцію від підтоку повітря ззовні. Місце розташування пальників можливо змінювати залежно від виду та типу досліджуваного фрагмента.

4. Димохід камери вогневої печі складається з двох частин: цегла в один ряд та вбудована сталева труба з товстостінного металу 10 мм діаметром 20 см, яка витримує до $1\,000^{\circ}\text{C}$ та легко монтується, рис. 3.5..



Рисунок 3.5. Димохід камери вогневої установки.

5. Знімні панелі розміром $1,2\text{ м} \times 1,2\text{ м}$, які зроблені із звареного каркасу з металу, де розміщується мінеральна вата, поверх якої закріплені магнезитові листи, товщиною 10 мм, зі сторони, що піддається температурному впливу, граничною температурою $1\,200^{\circ}\text{C}$, тривалістю вогневого впливу до двох годин.



Рисунок 3.6. Знімні панелі з магнезитовими листами

Після двох перших експериментів, магнезитові листи втратили свої властивості, хоча в характеристиках зазначено, що такий лист витримує температуру до 1 200 °C, через це у камері вогневої установки були значні втрати тепла. В перших експериментах температура у камері вогневої установки досягла максимум 650 °C.

Проаналізувавши характеристики листів нержавіючої сталі, зокрема стійкість до впливу агресивних середовищ, нагрівання та охолодження до високих показників температури, відмінну переносимість температурних перепадів, вирішили замінити магнезитові листи на листи нержавіючої сталі та під час виконання вогневих експериментів накрити всю піч мінеральною ватою з фольгою для зменшення втрат тепла.

Вогневу установку було побудовано п-подібної форми, одну сторону конструкції печі збудовано не було, що дозволяє досліджувати фрагменти залізобетонної стіни та плити в умовах реальної пожежі.

Характеристика камери установки наведена в табл. 3.1.

Таблиця 3.1 – Параметри камери вогневої установки

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

Засоби вимірювальної техніки, які використані під час експерименту з дослідження теплового впливу на будівельні конструкції наведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Вимірювальні засоби

№ п/п	Найменування обладнання або приладу	Діапазон вимірювання	Похибка вимірювань
1.	Термопара ТХА-2388 з модулем АЦП	від -200 до +700 °С від +700 до +1 350 °С	$\pm 2,0$ °С $\pm 4,0$ °С
2.	Терморезистори	від +5 до +300 °С	$\pm 1,0$ %
3.	Вимірювальна лінійка	від 0 мм до 1000 мм	± 1 мм
4.	Секундомір пр-26-2-000 СОС	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 МВ-4М аспіраційний	від 10 % до 100 % від -10 °С до 50 °С	± 4 % $\pm 0,2$ °С
6.	Штангенциркуль ІЦЦ-1	від 0 мм до 125 мм	$\pm 0,1$ мм
7.	Барометр-анероїд М67	600 - 800 мм рт. ст.	± 1 мм рт. ст.
8.	Анемометр АСО-3	від 0,3 м/с до 5 м/с	$\pm (0,1 + 0,05V)$ м/с

Для вимірювання температури у камері печі використовували термопари ТХА-2388 з діаметром дроту 1,25 мм, для вимірювання температури в діапазоні від 0 до 1 300 °С.

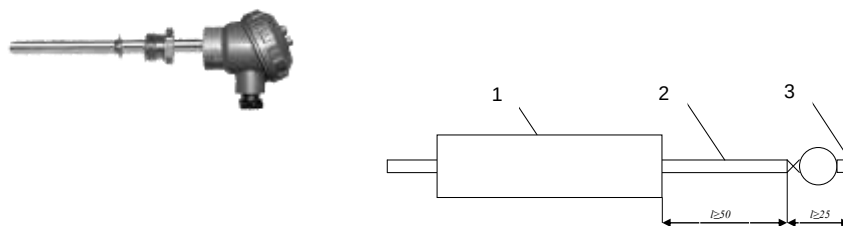


Рисунок 3.7. Загальний вигляд та схема термопари для вимірювання температур у робочому просторі камери печі: 1 – теплозахисна оболонка; 2 – захисний кожух; 3 – вимірювальний спай

Для вимірювання температур в досліджуваному фрагменті використовували термістори MF 52 (рис. 3.8.), в діапазоні вимірювання температури від -30 до 300 °С.



Рисунок 3.8. Термістор MF 52 для вимірювання температури в досліджуваному фрагменті

В місцях встановлення засобів вимірювальних приладів, для зняття цифрових значень температури, було розроблено систему метрологічного забезпечення – модуль аналого-цифрового перетворення (АЦП) сигналу термопари та терморезисторів. Такий вимірювальний технічний пристрій дозволяє вимірювати температуру з чутливістю в 0,25 °С. На базі мікросхеми max. 31855 побудовано модуль, який враховує температуру холодних спаїв та автоматично вносить виправлення у значення вимірювання температури. В цьому модулі розміщено 12 датчиків контролю температури, але він може вміщувати й до 56.



Рисунок 3.9. Спеціальний засіб зчитування інформації – блок комбінованого обчислення температур

Для контролювання числових значень температури та побудовання відповідних графіків в режимі реального часу використовувався плагін PLX DAQ Microsoft.

3.2. Методика виготовлення та формування малогабаритних фрагментів несучих залізобетонних стін для випробування

Відповідно до [1] фрагменти для випробування на вогнестійкість мають бути виготовлені згідно з технічною документацією за дотримання технології, що застосована на підприємстві-виробнику. Фрагменти повинні мати розміри, що відповідають проєктним розмірам будівельних конструкцій. Якщо фрагменти таких розмірів випробувати неможливо, можливо використовувати фрагменти конструкцій. Мінімальні розміри фрагментів регламентовано стандартами щодо методів випробування на вогнестійкість конструкцій конкретних типів.

Для випробування одношарових й симетричних багатошарових конструкцій потрібно два однакових фрагментів. Для виконання випробування багатошарових несиметричних конструкцій потрібно виготовити чотири однакових фрагменти. У випадках, якщо відомий напрямок вогневого впливу на конструкцію чи бік конструкції із меншою вогнестійкістю, необхідно виготовити два однакових фрагменти [1].

Вологість фрагментів повинна відповідати технічним умовам та бути врівноваженою з навколишнім середовищем за температури від 5 до 40 °C із відносною вологістю від 45 до 75 %. Для отримання відповідної вологості фрагментів можливе штучне чи природне сушіння за температури повітря, яка не перевищує 60 °C [1].

Фрагмент залізобетонної стіни – це просторова конструкція. Армування конструкцій фрагмента стін й матеріали, які застосовували, а саме: бетон та арматура, – відповідали використовуваним для будівництва житлових будинків із монолітного залізобетону.

Фрагмент стіни для дослідження виготовляли за допомогою стандартної розбірної опалубки.

На рис. 3.10. зображено фото заздалегідь підготовлених фрагментів № 1, 2 та 3, для виконання експериментів з нагрівання малогабаритних елементів несучих залізобетонних стін.



Рисунок 3.10. Малогабаритні фрагменти несучих залізобетонних стін, виготовлені заздалегідь до проведення експериментів: *а* – транспортування фрагментів; *б* – 2 фрагменти, підготовлені до виконання експериментів, 1 уже встановлений у камері вогневої печі; *в* – фрагмент стіни установлений до початку випробування, на місці експерименту

Як видно на (рис. 3.10., а) фрагменти зберігались у закритому приміщенні, а потім транспортувались до місця виконання експерименту та встановлювались у вогневу установку.

Малогабаритні фрагменти залізобетонних стін виготовляли заздалегідь до випробувань.

Фрагменти виготовили за такими пропорціями: на 1 м³ портландцементу марки «500» – 460 ± 10 кг, піску кварцового – 660 ± 10 кг, щебня гранітного – 1150 ± 10 кг, вода [72].

Армування відповідало фактично використовуваним для будівництва конструкцій несучих стін сучасних будинків із монолітного залізобетону – дріт класу Вр-I, діаметр 5 мм.

Для вивчення, як впливає структура бетону на теплофізичні параметри виготовлено три групи по 1 фрагменту з різним водоцементним співвідношенням. Вода/цемент = $0,3 \times (\text{вода} - 138 \pm 10 \text{ кг})$; з фракціями (щебеню) – 10, 15, 20 мм.

За допомогою вагових дозаторів заводського БСУ виконано дозування складових. У бетономішалці вільного падіння виконано перемішування бетонної суміші об'ємом $0,75 \text{ м}^3$. Глибинними вібраторами виконано ущільнення бетонної суміші.

Виготовлення конструкцій здійснювалося за допомогою стандартної розбірної опалубки.

На рис. 3.11. представлено фото виготовлення фрагменту залізобетонної несучої стіни для виконання експериментального дослідження.



Рисунок 3.11. Фото виготовлення фрагменту несучої залізобетонної стіни для виконання дослідження з їхнього нагрівання

Фрагменти знаходилися в опалубці впродовж 7 діб. Після розпалубки він тужавів протягом 28 діб в закритому приміщенні.

Після витримки 28 діб фрагменти несучих залізобетонних стін зберігалися в нормальних умовах вологості та температури до початку експерименту.

На обігрівній поверхні фрагмента встановлено 3 термопари типу ТХА, на необігрівній поверхні – 3 терморезистори та на рівні арматури 3 терморезистори з діапазоном замірювання $5 - 300 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

На схемі, рис. 3.12. показані місця розташування термопар та терморезисторів у проекційному зв'язку з врахуванням їхньої видимості на проєкціях.

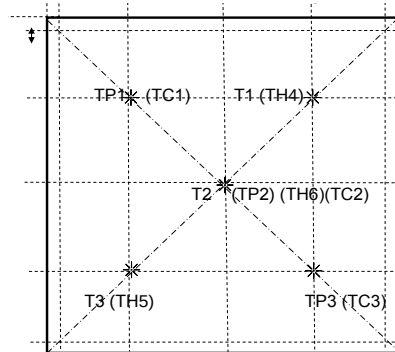


Рисунок 3.12. Схема розташування засобів вимірювальних приладів в перерізі фрагменту залізобетонної стіни для виконання експерименту

На схемі відображено засоби вимірювальної техніки пронумеровано наступним чином: на необігрівній поверхні (0,03 м від поверхні) – терморезистори ТН4 – ТН5; на рівні арматури – терморезистори ТР1 – ТР3; на обігрівній поверхні термопари Т1 – Т3; посередині досліджуваного фрагмента ТС1 – ТС3.

За вищезазначеною методикою були виготовлені три фрагменти залізобетонної стіни для виконання випробувань, рис. 3.13.



Рисунок 3.13. Вигляд заздалегідь виготовленого фрагмента несучої залізобетонної стіни для виконання випробування зі встановленими датчиками контролю температури

На рис. 3.13. зображені встановлені термопари на обігрівній поверхні залізобетонної стіни на рівні арматури та терморезистори на необігрівній поверхні.

3.3. Методика виконання експериментального дослідження з нагрівання фрагмента несучої залізобетонної стіни у малогабаритній вогневій установці

Методика виконання експериментів з нагрівання малогабаритного фрагмента несучої залізобетонної стіни у малогабаритній вогневій установці полягає у впливі стандартного температурного режиму пожежі без механічного навантаження за умови нагрівання елемента залізобетонної стіни з однієї сторони, на основі яких розрахунковим методом можливо здійснити оцінювання межі вогнестійкості будівельних конструкцій, які будуть відповідати їх реальним розмірам та запроєктованим навантаженням.

Випробування виконувалися за температури навколишнього середовища $26^{\pm 1}\text{°C}$ та відносній вологості повітря 58%, що відповідає вимогам [1, 2].

Випробування фрагментів стін здійснювалися за методами, що регламентовані [1, 2], який полягає у визначенні проміжку часу від початку виконання випробування за стандартним температурним режимом згідно [1] за умови вогневого впливу з обігрівної сторони фрагмента стіни [2].

Межу вогнестійкості конструкції визначають за формулою [1]:

$$t_{fr} = t_{mes} - \Delta t, \quad (3.1)$$

де t_{fr} – межа вогнестійкості, хв;

t_{mes} – значення часу від початку вогневого випробування до досягнення граничного стану з вогнестійкості, хв;

Δt – похибка вогневого випробування.

Похибку вогневого випробування визначають наступним чином [13]:

Під час випробувань в камері вогневої печі для інтервалу часу від 0 до t_{mes} визначають інтегральне значення A_f середньої температури T_f за такою формулою[13]:

$$A_f = \sum_{i=1}^n 0,5 (T_{fi} + T_{fi-1}) (t_i - t_{i-1}) , \quad (3.2)$$

де T_{fi} – значення середньої температури в камері вогневої установки, що відповідає часу t_i , °C;

t_i – час i -го циклу вимірювання середньої температури;

i – номер циклу вимірювання середньої температури (дорівнює часу t_i , якщо вимірювання виконують через 1 хв);

n – номер циклу вимірювання, для якого $t_i = t_{mes}$

Таким же чином для інтервалу часу від 0 до t_{mes} визначають інтегральне значення A_s стандартної температури T_s за формулою[13]:

$$A_f = \sum_{i=1}^n 0,5 (T_{si} + T_{si-1}) (t_i - t_{i-1}) , \quad (3.3)$$

де T_{si} – значення стандартної температури, що відповідає часу t_i , °C.

Формула для розрахунку значення температури T_s залежно від часу наведено в [13].

- Якщо $A_f \geq A_s$, то $t=0$.
- Якщо $A_f < A_s$, то похибку Δt визначають за формулою[13]:

$$\Delta t = (0,015 t_{mes} + 3) (A_s - A_f)/(A_s - A_{min}), \quad (3.4)$$

де A_{min} – інтегральне значення мінімально допустимої температури T_{min} в інтервалі часу від 0 до t_{mes} , °C·хв.

Значення A_{min} визначають за формулою, аналогічною формулам (3.2) і (3.3) [13]:

$$A_f = \sum_{i=1}^n 0,5 (T_{min\ i} + T_{min\ i-1}) (t_i - t_{i-1}), \quad (3.5)$$

де $T_{min\ i}$ – значення мінімально допустимої температури T_{min} , що відповідає часу t_i , °C.

Температуру T_{min} визначають за формулою [13]:

$$T_{min} = T (1 - |0,01d|), \quad (3.6)$$

де d – допустиме відхилення середньої температури в камері печі від температури T_s , %.

Межу вогнестійкості визначають за результатами міцнісного розрахунку, для визначення відхилення наведені в [1].

Визначалися вертикальні деформації фрагментів в двох точках по одній з кожного краю. Додатково вимірювались всі суттєві горизонтальні деформації (5мм і більше), посередині вертикального краю фрагмента та в центрі, на відстані від краю 50 мм.

У випадку досягнення одного з граничних станів випробування припинялося. Настання граничного стану визначають згідно із вимогами стандартів [1, 2].

Загальна методика виконання експериментального дослідження прогрівання залізобетонної стіни у створеній установці для дослідження теплового впливу пожежі на будівельні залізобетонні конструкції:

- до п-подібного огороження установки встановлюють фрагмент залізобетонної конструкції;
- в отвори для датчиків контролю температури в камері вогневої установки 3 та в досліджуваному фрагменті 9 встановлюють датчики;
- далі запалюють пальники, які встановлюють у отвори для пальників та за допомогою подавання газу з газового балону, у середині камери печі створюється заданий температурний режим;
- в нижній частині камери печі розміщено отвір для відведення продуктів горіння;
- контроль температури досліджуваного фрагмента здійснюють за допомогою спеціальних технічних засобів, а результати вогневих експериментів обробляють відповідно до чинних стандартів;

Таким чином отримаємо експериментальні дані, які лягають в основу розрахункової методики, та відповідно робимо висновок про фактичну межу вогнестійкості будівельних конструкцій.

3.4. Процес виконання експериментального дослідження з нагрівання фрагментів несучих залізобетонних стін та його результати

Дослідження було виконано на базі Навчального комплексу практичної підготовки фахівців оперативно-рятувальної служби цивільного захисту ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України.

До початку експерименту фіксуємо дату виконання та температуру навколишнього повітря. Перед початком замірюємо габаритні розміри фрагмента, його товщину та фіксуємо встановлені дані.

Зовнішні умови: дата виконання експерименту: 05.08.2021; температура повітря: 26⁺¹ °C; вологість повітря: 58%.

Було виготовлено 3 фрагмента, габаритні розміри яких: 1193 × 1195 мм; 1198 × 1194 мм; 1201 × 1199 мм.

Фрагмент для виконання експерименту закріплюємо в передній частині установки. Верхню частину установки закриваємо знімною панеллю. Для запобігання вивітрюванню гарячих газів з печі через щілини та стики прилягання знімної панелі між стінками вогневої печі та знімної панелі розміщено азбестовий шнур. Для зменшення втрати тепла знімні панелі накриті фольгованою мінеральною ватою товщиною 10 мм. На (рис. 3.14) показано схему встановлення малогабаритного фрагменту несучої залізобетонної стіни у камеру вогневої установки.

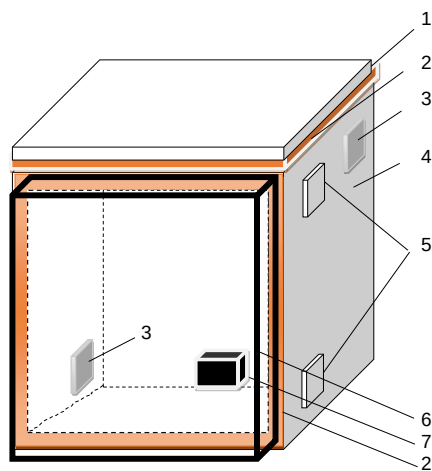


Рисунок 3.14. Схема встановлення фрагмента для експерименту: 1 – знімна панель, яка закриває верхню частину малогабаритної установки; 2 – ущільнювач з азбестового шнура та мінеральної вати; 3 – пальники, які у камері печі створюють температурний режим; 4 – п-подібне огородження печі; 5 – місця для пальників, що не використовують під час експерименту та закупорені шаром мінеральної вати густиною 120 кг/м^3 , завтовшки 120 мм; 6 – фрагмент стіни, що досліджуємо; 7 – отвір для виходу продуктів горіння

Під час виконання експерименту із прогрівання стін використовуємо 2 пальники. Вони розміщені зверху і знизу дальньої частини установки так, щоб факели полум'я не контактували один з одним та знаходились в 80 см до випробувального фрагмента. Для недопущення вивітрювання пічних газів через отвори, які не задіяні в експерименті з прогрівання стін, місця для

пальників, які не використовуємо під час випробування стіни, було закладено мінеральною ватою.

На рівномірність розподілу температури по обігрівній поверхні залізобетонних будівельних конструкцій впливає розміщення отворів для відведення продуктів горіння та пальників.

Два пальники під'єднано до двох газових балонів з регулювальним апаратом.

До початку виконання експерименту встановлено термопари й терморезистори в просторі камери вогневої установки та у досліджуваному фрагменті: в камері вогневої установки розташовано 3 термопари типу ТХА для можливості контролювати температурний режим та забезпечувати його відповідність стандартному; на обігрівній поверхні фрагмента встановлено 3 термопари та на рівні арматури також 3 типу ТХА; на необігрівній поверхні та посередині перерізу фрагмента розташовано 5 терморезисторів із діапазоном замірювання 5 – 300 °С (рис. 3.12).

На рис. 3.15 показано місця розташування термопар у камері вогневої установки під час дослідження прогрівання малогабаритного фрагмента залізобетонної стіни.



а

б

Рисунок 3.15. Розташування засобів вимірювальних приладів під час виконання експерименту з нагрівання несучої залізобетонної стіни: *а* – ліва сторона п-подібної камери вогневої установки, *б* – права сторона, де розташована одна термопара

Під час виконання дослідження з нагрівання фрагмента несучої залізобетонної стіни температура в установці відповідала вимогам, які регламентовані стандартом. Візуальним оглядом встановлено, що втрати цілісності теплоізолювальної несучої здатності фрагмента не відбулося, але на (рис. 3.16) видно, що почалась деструкція фрагмента залізобетонної стіни з виділенням пари та вологи, що знаходяться всередині конструкції.



Рисунок 3.16. Фрагмент несучої залізобетонної стіни після виконаного експерименту

На (рис. 3.17) зображено графік температурно-часової залежності прогрівання фрагмента несучої залізобетонної стіни на обігрівній поверхні.

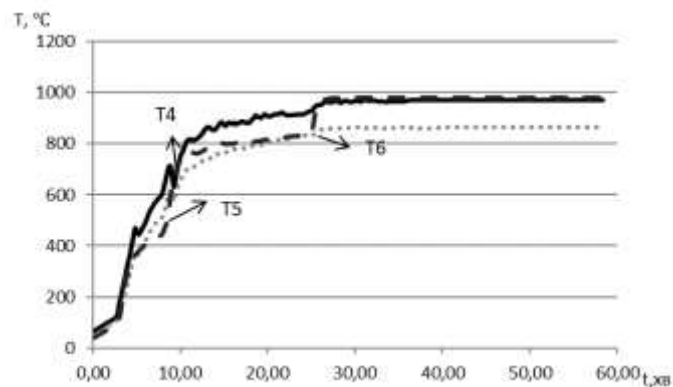


Рисунок 3.17. Лінійна швидкість прогрівання досліджуваного фрагмента несучої залізобетонної стіни: T4-T6 термопари, встановлені на обігрівній поверхні

Як свідчать дані датчиків контролю температури (рис. 3.17), лінійна швидкість прогрівання фрагмента несучої залізобетонної стіни відповідала «стандартній» температурній кривій пожежі та знаходилась в межах, визначених стандартом [1]. Коли досягнуть значення 980 °С, встановлено стаціонарний режим за допомогою регулювання потужності нагрівання камери печі. Експеримент тривав 60 хвилин.

На (рис. 3.18 – 3.19) відображено графік температурно-часової залежності на не обігрівній поверхні, посередині перерізу фрагмента несучої залізобетонної стіни та на рівні арматури.

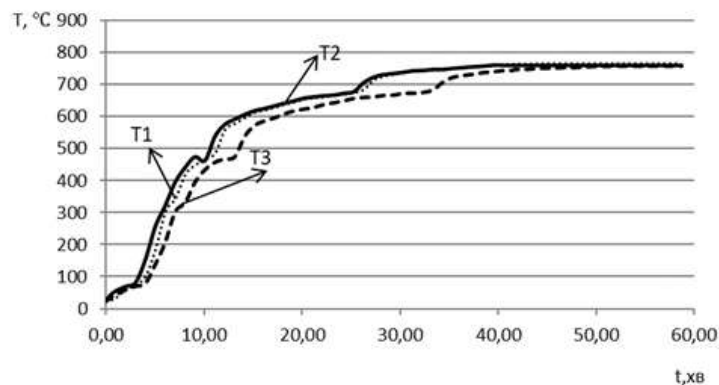


Рисунок 3.18. Результати вимірювання температури у досліджуваному фрагменті: $T1$, $T2$, $T3$ – показники термопар, які встановлені на рівні арматури

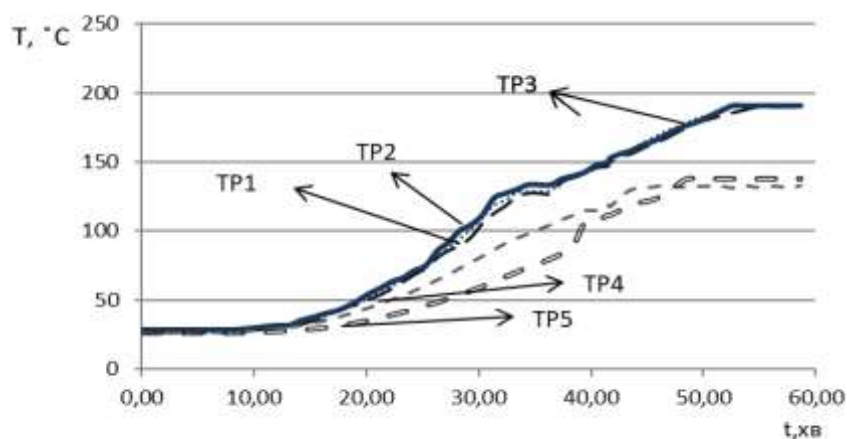


Рисунок 3.19. Результати показників терморезисторів у фрагменті досліджуваного фрагмента: $TP1$, $TP2$, $TP3$ – результати показників

терморезисторів, встановлених по середині перерізу стіни; TP4, TP5 – дані терморезисторів, які встановлені на необігрівній поверхні

Проаналізувавши дані, отримані відповідно до результатів виконаного експерименту, було сформульовано наступні висновки:

- два газові пальники здатні забезпечувати у камері вогневої установки відповідність стандартному температурному режиму пожежі за 60 хв під час виконання дослідження;

- під час нагрівання несучої залізобетонної стіни спостерігались виділення вологи та пару, які знаходяться всередині матеріалу: на обігрівній поверхні цей процес відбувся з 15 до 25 хвилини, на не обігрівній – з 35 до 57 хвилини, а на рівні арматури – з 32 до 52 хвилини;

- прогрівання конструкцій на всіх рівнях було рівномірним у площинах розміщень термопар (рис. 3.18. – 3.19.);

- максимальна температура на рівні арматури була 765 °С, яку спостерігали на останній хвилині дослідження, вона продовжувала лінійно зростати після виходу із плато;

- на необігрівній поверхні максимальна температура була 137 °С, яка спостерігалась на останній хвилині дослідження та продовжувала лінійно зростати після виходу з плато;

- експериментальних даних достатньо для виконання далі розрахування температурних полів всередині конструкції та оцінювання її вогнестійкості.

Перспектива до удосконалення конструкції вогневої установки:

1. Таку конструкцію вогневої печі збудовано вперше. Для дослідження теплового впливу пожежі на будівельні конструкції більших розмірів є можливість побудувати вогневу установку відповідних розмірів, але це є не обов'язково, оскільки реальні розміри конструкції та пожежне навантаження, яке закладають в процесі проєктування будівлі можна визначити розрахунковим методом.

2. Під час виконання перших запусків вогневої установки були зафіксовані втрати тепла через нещільне прилягання знімних панелей до подібного огороження печі, доцільним є облаштування ущільнювача з негорючих матеріалів, щоб знімні панелі прилягали щільніше. Також для зменшення втрат тепла під час виконання вогневого випробування доцільно використовувати утеплювач, наприклад, мінеральну вату з фольгованим покриттям, в місцях розташування знімних панелей.

3. З метою забезпечення необхідної вологостійкості установки доцільно створити засоби для обмеження зовнішніх опадів з метою запобігання руйнування цегли та бетону.

4. З метою забезпечення можливості виконання дослідження теплового впливу пожежі на основні типи будівельних конструкцій та дотримання основних вимог щодо виконання випробувань доцільно удосконалити знімні панелі шляхом заміни листа нержавіючої сталі на інший вогнетривкий матеріал.

5. Для забезпечення безперебійного подавання газу необхідно збільшити кількість отворів у пальниках для потрапляння кисню у сопло пальника.

3.5. Встановлення адекватності результатів виконання експериментального дослідження

Необхідно отримати кількісні показники щодо адекватності для з'ясування того наскільки експерименти здатні до відтворення результатів виконаних експериментів. Перевіряння адекватності виконана на підставі отриманих даних внаслідок експериментів з прогрівання малогабаритних фрагментів будівельних конструкцій, під час яких помітні процеси, які є пріоритетними в дослідженнях [91]. У ході досліджень було виконано три експерименти у малогабаритній вогневій установці за стандартним температурним режимом пожежі ідентичних та одночасно виготовлених конструкцій за однакових зовнішніх умов.

Для подальшого дослідження необхідно розрахувати відносну, абсолютну похибки експериментальних даних та показів температури термодатчиків, що розташовані у конструкції з дисперсією відтворюваності експериментальних випробувань для послідовного порівняння дисперсій. Можливо перевірити гіпотезу щодо розподілу температур в кожній хвилині експерименту та рівності генеральних дисперсій за допомогою F-критерію Фішера [92, 93].

$$F = \frac{S_{xy}^2}{S_y^2}, \quad (3.7)$$

де S_{xy}^2 – дисперсія адекватності;

S_y^2 – дисперсія відтворюваності.

Як відхилення між показами конкретної термопары розрахована дисперсія адекватності та середнього значення температури у всіх трьох експериментах відповідного її місця замірювання температури [94].

$$S_{xy}^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2}{n}, \quad (3.8)$$

де n – кількість замірювань температури;

y_i – значення критерію в процесі моделювання;

x_i – значення критерію під час експерименту.

Як відхилення температури конкретної термопары і середнього значення температури по всіх дослідках у площинах її розташування з урахуванням похибки термопар розрахована дисперсія відтворюваності [1].

$$S_y^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y} + 1)^2 \quad (3.9)$$

де n – кількість вимірювань температури;

$\bar{y} + 1$ – середні показники термопар із урахуванням похибки;

y_i – показники термопар безпосередньо у місці вимірювань.

Таблиця 3.3 – Параметри дисперсії результатів 3-ох експериментів з нагрівання малогабаритного фрагменту залізобетонної стіни

Зона термопар (рис. 3.12)	Абсолютне середнє відхилення, °C	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	

Як видно з таблиці 3.3, розрахований критерій адекватності (F-критерій Фішера) нижче за критичне значення, а відносне відхилення не перевищило 3%, що підтверджує адекватність отриманих експериментальних даних.

3.6. Висновки до розділу

У результаті виконаної у цьому розділі роботи на основі вимог стандартів щодо виконання випробувань несучих стін на вогнестійкість було удосконалено методику з нагрівання фрагментів несучих залізобетонних стін за стандартним температурним режимом пожежі без прикладення навантаження. Було виконано експерименти з прогрівання малогабаритних елементів залізобетонних конструкцій. Перевіряння адекватності результатів, що отримані під час виконання досліджень підтвердили їхню достовірність, що дозволило сформулювати висновки висвітлені нижче.

1. Експериментально перевірено та підтверджено доцільність здійснення удосконалень конфігурації малогабаритної вогневої установки, а

також її ключових елементів. За рахунок використання засобів ізоляції та перспективної системи відведення пічних газів було знижено використання палива на 15 %. Доведено, що можливо використовувати універсальну установку для випробування несучих стін без втрати точності отриманих результатів.

2. Описано методику виконання експерименту з нагрівання фрагментів несучих залізобетонних стін. Виконання вищезазначеного дослідження у малогабаритній вогневій установці без механічного навантаження полягає у впливі стандартного температурного режиму пожежі з однієї сторони під час прогрівання елемента залізобетонної стіни. Для вимірювання температури в печі, на обігрівній поверхні та на рівні арматури використовували термопари з діаметром дроту 1,25 мм, які застосовують для вимірювання температури в діапазоні від 0 °С до 1 300 °С. Для вимірювання температури в досліджуваних фрагментах стін на необігрівній поверхні по середині перерізу стіни використовували терморезистори MF 52, для вимірювання температури в діапазоні від -30 °С до 300 °С.

3. Удосконалена методика з нагрівання несучих залізобетонних стін передбачає використання на 30 % меншої кількості датчиків контролю температури за рахунок обґрунтування раціональних місць їхнього розташування, а також дозволяє забезпечити рівномірність прогрівання і зберегти цілісність будівельної конструкції.

4. З метою виконання експериментальних досліджень було створено три малогабаритних фрагменти несучих залізобетонних стін з важкого бетону з армуванням. Розміри яких: 1198 × 1194 мм; 1193 × 1195 мм; 1201 × 1199 мм, які було витримано у спеціальному приміщенні 28 діб. Рецептuru фрагментів було взято з [13] для можливості співставлення отриманих та опублікованих вченими результатів.

5. На підставі отриманої інформації підтверджено адекватність експериментальних даних внаслідок виконаних експериментів з нагрівання малогабаритних фрагментів несучих залізобетонних стін: розрахований

критерій адекватності (F-критерій Фішера) нижчий за критичне значення, а відносне відхилення не перевищило 3%.

6. Відповідно до виконаного дослідження на обігрівній поверхні малогабаритного фрагмента відбувається рівномірний розподіл температур, максимальна досягнута температура 865 °С, максимальна температура на рівні арматури – 761 °С та спостерігалась на останній хвилині дослідження і продовжувала лінійно зростати після виходу із плато; максимальна температура на необігрівній поверхні – 137 °С, спостерігалась на останній хвилині дослідження та продовжувала лінійно зростати після виходу з плато.

Отримані результати підтвердили, що дослідження з нагрівання фрагмента несучої залізобетонної стіни доцільно виконувати у малогабаритних вогневих установках за стандартним температурним режимом з перевірянням адекватності експериментальних даних, а отримані дані експериментального дослідження є початковими для розрахунку температурного поля в усій конструкції.

РОЗДІЛ 4. ОБҐРУНТУВАННЯ РОЗРАХУНКОВОЇ ЧАСТИНИ УДОСКОНАЛЕНОЇ МЕТОДИКИ ОЦІЮВАННЯ МЕЖІ ВОГНЕСТІЙКОСТІ НЕСУЧИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ СТІН

4.1. Методика відновлення температурних розподілень у перерізі стінових елементів за точковими замірами

Найбільш поширеним є підхід, це коли теплофізичні характеристики матеріалів залізобетонних несучих стін описують всі складні фізико-хімічні процеси, які відбуваються у цих матеріалах за умови їхнього нагрівання та є температурними залежностями, для розв'язання теплотехнічної задачі. Матеріали залізобетонних несучих стін мають пористий каркас із певним вмістом води [95, 96]. Сам пористий каркас має гідрокристалічну будову. Тому процес нагрівання супроводжується конденсацією, фільтрацією води у рідкому та газоподібному станах та випаровуванням. В такому разі не мають прямого фізичного змісту теплофізичні характеристики і називаються ефективними. Але такий підхід набув широкого поширення і дає достатньо точні результати. В даному випадку рівняння теплопровідності називають квазілінійним (формула 1.10).

Зважаючи на велику різницю у коефіцієнтах, в армованих стінах, враховують теплопередавання тільки у відповідній бетонній матриці, тому розглядають відповідні теплофізичні характеристики. На рис. 4.1 та рис. 4.2 подані теплофізичні характеристики бетону.

Для розв'язування рівняння теплопровідності (4.1) використовують граничні умови III роду [29], формула 1.11.

Коефіцієнт теплообміну враховує дію інфрачервоного випромінювання та конвекції, його визначають за формулою [29] і формулою 1.12.

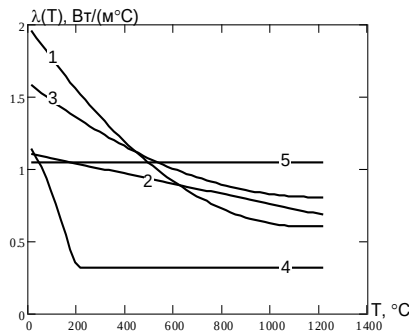


Рисунок 4.1. Температурні залежності коефіцієнта теплопровідності: 1 – за рекомендаціями [5]; 2 - за рекомендаціями [97]; 3 – згідно з даними роботи [27]; 4 – згідно з даними роботи [98]; 5 - усереднені дані

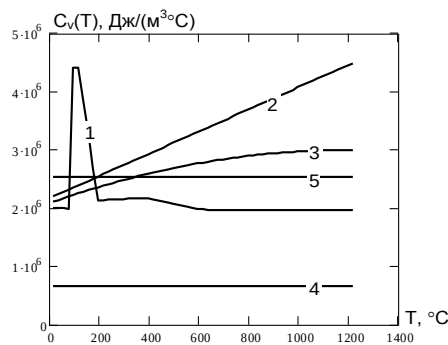


Рисунок 4.2. Температурні залежності коефіцієнта теплопровідності: 1 – за рекомендаціями [5]; 2 - за рекомендаціями [97]; 3 – згідно з даними роботи [27]; 4 – згідно з даними роботи [30]; 5 - усереднені дані

Для вивчення розподілу температури по перерізу несучих стін під час вогневих випробувань розглянемо розрахункову методику, засновану на розв'язку рівняння (1.12) із граничними умовами III роду (1.11). Водночас з використанням розрахункової схеми була поставлена гранична задача, яка подана на рис. 4.3.

Математична модель теплопередавання у цьому випадку добре описана у роботах [25, 27, 28, 53, 98 – 104]. Також використовують рівняння теплопровідності [105]:

$$Cv(T) \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x} \right), \quad (4.1)$$

де $Cv(T) = \rho(T)c_p(T)$ – об'ємна питома теплоємність.

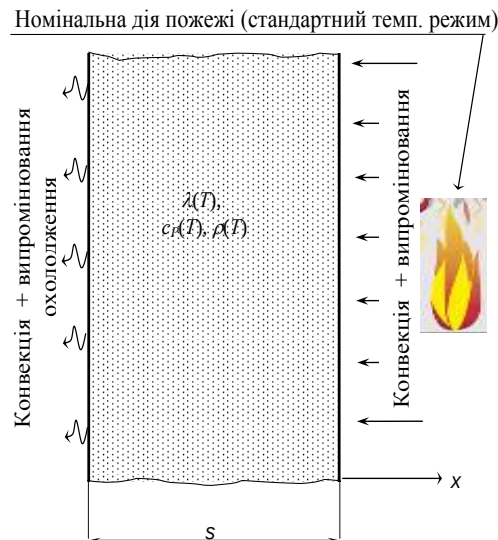


Рисунок 4.3. Розрахункова схема моделі теплопередавання під час нагрівання стінового елемента в процесі вогневих випробувань [105]

Вираз (4.2), який відповідає граничним умовам III роду на обігрівній поверхні, записують у вигляді [13]:

$$-\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=b} = \alpha (T_p - T_w) \quad (4.2)$$

Вираз (4.3) граничних умов III роду, на необігрівній поверхні стіни записують у вигляді [13]:

$$-\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x} \Big|_{x=0} = \alpha_n (293 - T_n) \quad (4.3)$$

де α , α_n – коефіцієнти теплообміну на обігрівній та необігрівній поверхні відповідно, який визначають за формулою (4.3).

Згідно з рекомендаціями [97] можна визначити з виразів конвективні і радіаційні складові коефіцієнта теплообміну:

$\alpha_K = 25 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$ – поверхня, яка обігрівається;

$\alpha_K = 6 \text{ Вт/(м}^2 \cdot \text{К)}$ – поверхня, яка не обігрівається;

$$\alpha_p = \varepsilon \cdot \sigma \cdot \frac{T_w^4 - T_p^4}{T_w - T_p}, \quad (4.4)$$

де ε – ступінь чорноти матеріалу стіни її поверхні $\sigma = 5.67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м² К⁴) – стала випромінювання.

Початкова температура стіни та навколишнього середовища $T_0 = 293$ К.

Температуру пожежі визначають за формулою (1.1), яка зображує стандартний температурний режим пожежі.

Для розв'язування прямої задачі нестационарної теплопровідності була застосована підстановка Гудмена [106]:

$$H = \int_0^T C_v(T) dT, \quad (4.5)$$

У лінеаризованому вигляді записують рівняння теплопровідності:

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left[k(H(T)) \cdot \frac{\partial H}{\partial x} \right], \quad (4.6)$$

де $k(H(T)) = \lambda(H(T))/C_v(H(T))$.

У роботі [107 – 109] добре описаний алгоритм розв'язання рівняння (4.7). Кінцево-різницева апроксимація рівняння була виконана в дійсній формі із застосуванням інтегро-інтерполяційного методу [109] у вигляді:

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{H_{k+1,i} - H_{k,i}}{\Delta t}$$

$$\frac{\partial}{\partial x} \left[k(H(T)) \cdot \frac{\partial H}{\partial x} \right] = \frac{1}{\Delta x^2} (aH_{k,i-1} - (a+b)H_{k,i} + bH_{k,i+1}), \quad (4.7)$$

де

$$\frac{1}{a} = \frac{1}{\Delta x_{i-\frac{1}{2}}} \int_0^{\Delta x} \frac{dx}{k(H(T))} = \frac{(k[H(T_{i-1})] + k[H(T_i)])\Delta x}{\Delta x_{i-\frac{1}{2}} k[H(T_{i-1})]k[H(T_i)]},$$

$$\frac{1}{b} = \frac{1}{\Delta x_{i+\frac{1}{2}}} \int_0^{\Delta x} \frac{dx}{k(H(T))} = \frac{(k[H(T_{i-1})] + k[H(T_i)])\Delta x}{\Delta x_{i+\frac{1}{2}} k[H(T_{i-1})]k[H(T_i)]}. \quad (4.8)$$

Були вибрані часовий та просторовий кроки, враховуючи умову збіжності, які рівні $\Delta t = 15$ с, $\Delta x = 0,005$ м. За дійсними рекурентними формулами після кожного циклу обчислень було розв'язано квадратне рівняння, яке утворювалося за умови інтегрування за формулою (4.8) кусочно-лінійних залежностей теплоємності, які визначають за рис. 4.1, рис. 4.2.

Якщо встановлені температурні розподіли шляхом інтерполяції й уточнених пружно-пластичних властивостей матеріалу стін можна вирішити міцнісну задачу. Для цього потрібно вибрати відповідний розрахунковий метод, який запропоновано у нормах [19], він полягає у поступовому збільшенні кривизни стіни в бік обігрівної сторони у кожний контрольний момент часу випробування на кожному кроці збільшення деформації з одночасним визначенням поздовжньої сили. В момент досягнення критичного значення переміщення, яке визначають за формулою (1.5), розрахунок припиняється. Із отриманих значень сили вибирають найбільше, яке в подальшому буде вважатися несучою здатністю випробуваної стіни. Розрахунок виконують із використанням системи рівнянь (1.10).

Для математичного описання механічних властивостей основного матеріалу стіни використовують формули (4.9) [19].

$$[\mathbf{F}]\{\mathbf{k}\} + \{\mathbf{S}\} = \mathbf{0}, \quad (4.9)$$

де $\{k\} = (k_{c1} \ k_{c2} \ \dots \ k_{cm})^T$ – вектор табличних значень коефіцієнта роботи матеріалу стіни, який відповідає табличним температурам $\{T_m\} = (0 \ 100 \ 200 \ \dots \ T_m)^T$, які виступають як невідомі.

Для того, щоб описати механічні властивості арматурної сталі, були застосовані стандартні діаграми, що описані формулами (4.10) – (4.11). На рис. 4.4 відображені діаграми деформування для арматурної сталі А 500°C.

Зусилля в арматурі в i -тий момент часу встановлюють за виразами, які наведені у вимогах щодо розрахунку залізобетонних конструкцій [19]:

$$\begin{aligned}
 &\text{якщо } 0 < \varepsilon < \varepsilon_{s0} & F_{st}(\varepsilon, T) &= E_{s,T} \varepsilon \\
 &\text{якщо } \varepsilon_{s0} < \varepsilon \leq \varepsilon_{sy} & F_{st}(\varepsilon, T) &= f_{sp,T} - c + (b/a)[a^2 - (\varepsilon_{sy} - \varepsilon_s)^2]^{0,5}, \\
 &\text{якщо } \varepsilon_{sy} \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{st} & \sigma_s &= f_{sy,T}, \\
 &\text{якщо } \varepsilon_{st} \leq \varepsilon \leq \varepsilon_{s2} & F_{st}(\varepsilon, T) &= f_{sy,T} [1 - (\varepsilon_s - \varepsilon_{st})/(\varepsilon_{s0} - \varepsilon_{st})], \\
 &\text{якщо } \varepsilon_{s2} < \varepsilon & \sigma_s &= 0,
 \end{aligned} \tag{4.10}$$

де: a, b, c – параметри, які визначають за формулами:

$$\begin{aligned}
 a^2 &= (\varepsilon_{sy} - \varepsilon_{sp})(\varepsilon_{sy} - \varepsilon_{sp} + c/E_{s,T}), \quad b^2 = c(\varepsilon_{sy} - \varepsilon_{sp})E_{s,T} + c^2 \\
 c &= \frac{(f_{sy,T} - f_{sp,T})^2}{(\varepsilon_{sy} - \varepsilon_{sp})E_{s,T} - 2(f_{sy,T} - f_{sp,T})}
 \end{aligned} \tag{4.11}$$

де:

ε_{sy} – деформація, за якої настає межа текучості;

ε_{st} – деформація, відповідно якої починається спадна гілка діаграми;

$f_{sp,T}$ – межа пропорційності сталі;

$f_{sy,T}$ – межа міцності сталі;

$E_{s,T}$ – модуль пружності сталі, який залежний від температури нагрівання.

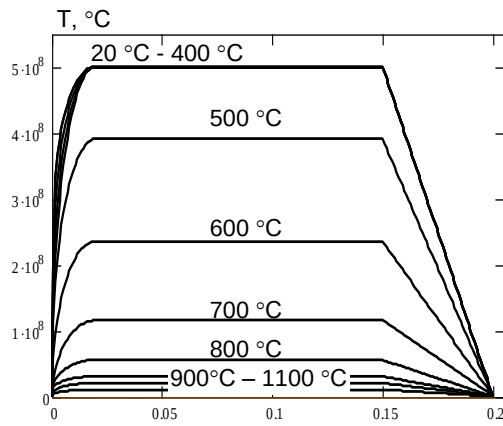


Рисунок 4.4. Діаграми деформування арматурної сталі стінових елементів

На рис. 4.5 відображено блок-схему для побудови графіка поздовжньої сили залежно від кривизни нейтральної лінії стіни.



Рисунок 4.5. Блок-схема побудови графіку головного моменту у перерізі стіни

Відповідно до представленої блок-схеми (рис. 4.5.) на початку розрахунку необхідно вказати головний момент сили. Далі відповідно до алгоритму головний момент змінюється залежно від температурного впливу

на стіну та її деформації в процесі нагрівання. Це враховують для визначення межі вогнестійкості стінового елемента, параметри якого в моделі задають з повними розмірами. Оскільки сила діє вертикально, він залежить від висоти стіни та величини навантаження на неї.

4.2. Відновлення температурних полів за результатами експериментальних досліджень

Методику використовують для встановлення межі вогнестійкості елементів будівельних конструкцій, зокрема стін, які підпадають під вплив теплового потоку за умови одностороннього нагрівання.

Використано інтерполяцію у вузлових точках перерізу у разі застосування значень температур, які виміряні в процесі виконання випробувань у контрольних точках перерізу для того, щоб врахувати зміни механічних властивостей залежно від температури.

На рис. 4.6 відображено розбиття перерізу стіни на зони та розташування датчиків контролю температур.

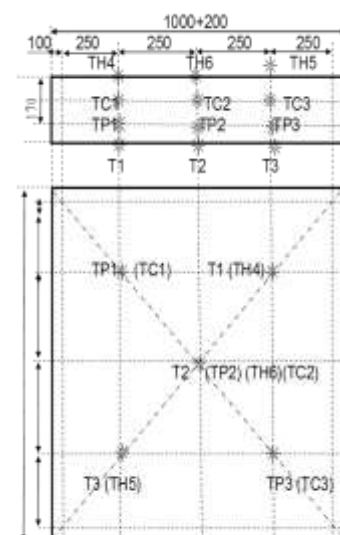


Рисунок 4.6. Схема розбиття перерізу стіни на зони та розташування термопар: встановлені термопари – T1, T2, T3, на обігрівній поверхні фрагмента; на рівні арматури термопари – TP1, TP2, TP3; на необігрівній поверхні

– терморезистори TH4, TH5, TH6, посередині досліджуваного фрагмента – TC1, TC2, TC3

Для вимірювання температури у печі, на обігрівній поверхні та на рівні арматури ми використовували термопари ТХА-2388 з діаметром дроту 1,25 мм, для вимірювання температури в діапазоні від 0 до 1 300 °С.

Для вимірювання температури на необігрівній поверхні та посередині перерізу досліджуваного фрагмента використовували термістори MF 52, для вимірювання температури в діапазоні від -30 до 300 °С.

Температуру пожежі визначають за формулою (1.1), яка передає стандартний температурний режим пожежі.

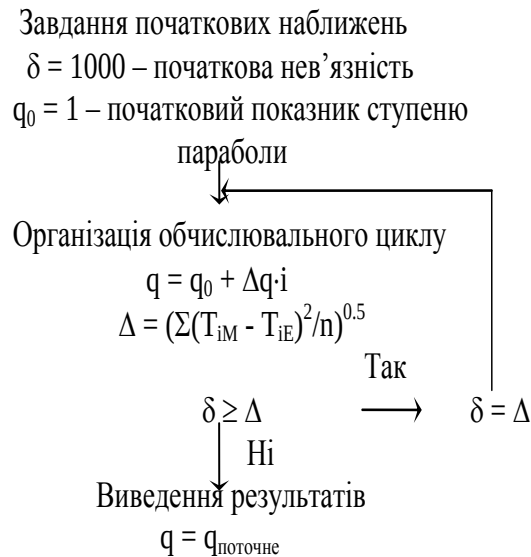


Рисунок 4.7. Схема поетапного визначення показника ступеня апроксимувального поліному

Загальна схема розрахунку апроксимації представлена на рис. 4.7. Алгоритм розрахунку заснований на представлених температурних кривих узагальненим виразом:

$$T_{k,i} = T_{0k} + (T_{\max k} - T_{0k}) \left[\frac{i}{n} \right]^{T_k}, \quad (4.12)$$

де $T_{k,i}$ – температура у k -тий момент часу i -тої точки перерізу стіни;

T_{0k} , $T_{\max k}$ – температура у k -тий момент часу першої та останньої точок;

n – кількість інтервалів між контрольними точками;

T_k – у k -тий момент часу показник ступеня параболи, який визначають за алгоритмом, зображеним на рис. 4.7.

В процесі вогневих випробувань під час нагрівання залізобетонної стіни у малогабаритній вогневій установці під дією власної ваги за стандартним температурним режимом пожежі було отримано результати прогрівання в необхідних контрольних точках для розрахунку [110]. Наступним етапом є оцінювання вогнестійкості цього елемента конструкції за несучою здатністю розрахунковим шляхом.

Методика дозволяє на основі отриманих експериментальних даних оцінити межу вогнестійкості несучих залізобетонних стін за несучою здатністю в умовах застосування розрахунку на міцність при стандартному температурному режимі пожежі у камері вогневої установці під дією власної ваги згідно з вимогами стандартів [1-2], в процесі застосування методу, який заснований на односторонньому прогріванні несучої залізобетонної стіни

Загальний експериментально-розрахунковий метод дає змогу виконувати випробування будівельних конструкцій, зокрема стіни на вогнестійкість за температурним режимом згідно із [1] без прикладання механічного навантаження, яке враховують на етапі розрахунку, а вхідними даними для них є експериментальні.

Для того, щоб провести розрахунок оцінки межі вогнестійкості несучих залізобетонних стін, на основі результатів прогрівання у малогабаритній вогневій установці, необхідні наступні дані:

- в кожну хвилину випробування згідно зі схемою на рис. 4.6, показники датчиків контролю температури;

- клас міцності арматури та бетону;
- тип крупного заповнювача бетону;
- діаметри арматури;
- кількість та розташування стержнів, які показано на рис. 4.8.
- дані щодо геометричних розмірів перерізу стіни;
- товщина захисного шару бетону;

розрахункова довжина стіни та розподілене навантаження [111].

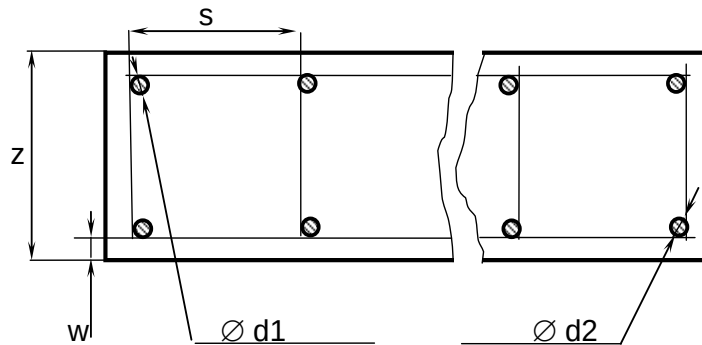


Рисунок 4.8. Схема розташування стержнів та діаметри арматури стіни

На рис. 4.9 показано лістинг сторінки введення початкових даних, а на рис. 4.10 відображено лістинг сторінки результатів.

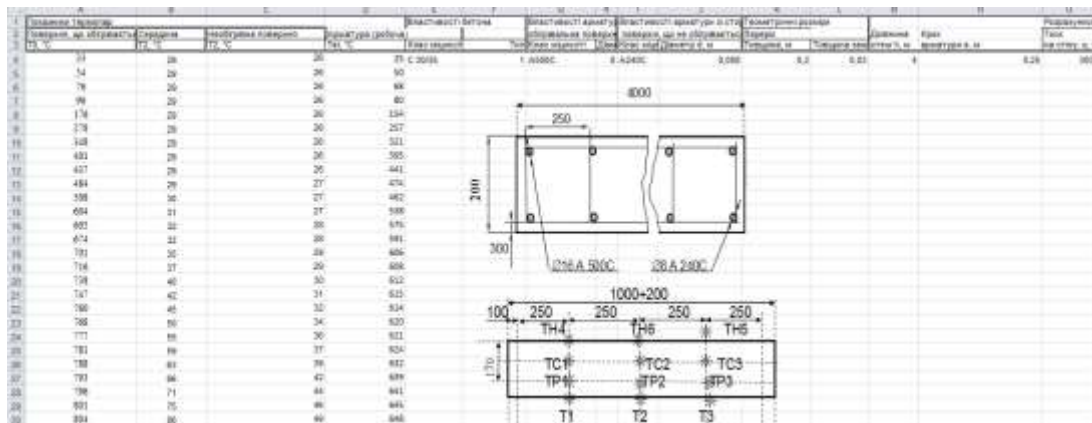


Рисунок 4.9. Сторінка вводу початкових даних

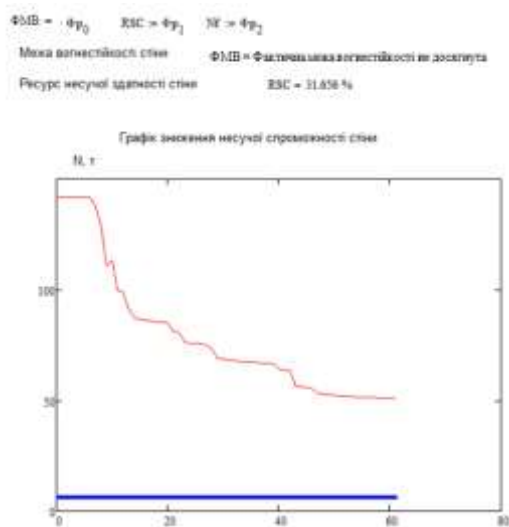


Рисунок 4.10. Сторінка отриманих результатів

4.3. Результати використання запропонованого методу

Розглянемо конкретний приклад несучої залізобетонної стіни. На рис. 4.11 поданий вигляд перерізу стіни та схема її армування, відповідно до схеми рис. 4.7.

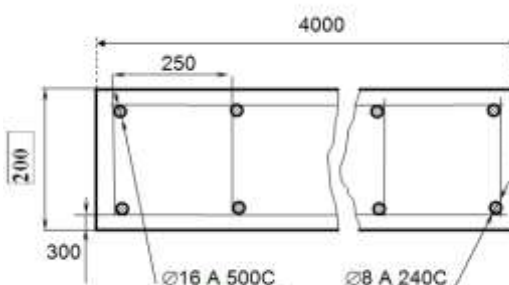


Рисунок 4.11. Параметри перерізу стіни

Таблиця 4.1 – Основні параметри несучої залізобетонної стіни

Параметри	Умовні позначення	Числові значення	Одиниці виміру
Геометричні параметри:			
висота,	b	4	м
товщина захисного шару,	w	0,03	
загальна товщина	z	0,20	

Продовження таблиці 4.1.

Параметри	Умовні позначення	Числові значення	Одиниці виміру
Тип бетону	Важкий на гранітному заповнювачі	Клас С 30/35 (В30)	
Густина бетону	ρ_B	2230	кг/м ³
Робоча арматура: діаметр більший, діаметр менший, крок	d_1 d_2 s	0,016 – Клас А500С 0,08 - Клас А240С 0,25	м

Після проведеної інтерполяції температур були отримані їх розподіли, які показані на рис. 4.12.

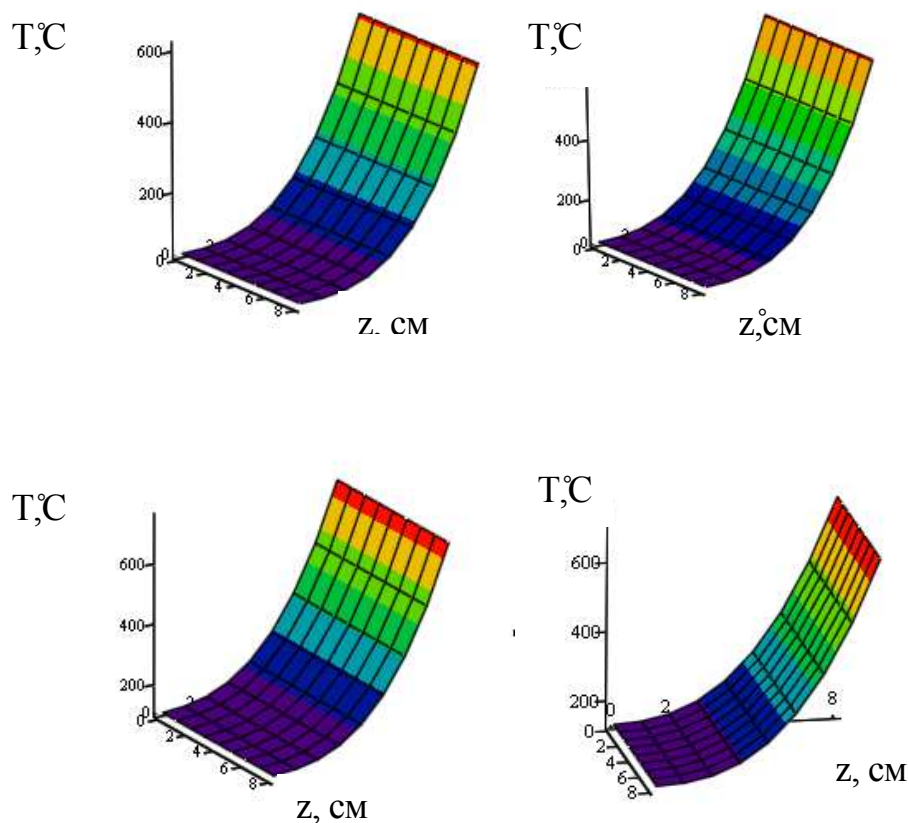


Рисунок 4.12. Результати виконаної інтерполяції температур за значеннями температур у контрольних точках перерізу стіни

Для здійснення інтерполяції температур, для перерізу несучої залізобетонної стіни згідно з рекомендаціями [19] були взяті результати розрахунку теплової задачі.

Відповідно до рекомендацій [19], а також даних таблиці 4.1, були побудовані міцнісні характеристики арматурної сталі та бетону, які подані на рис. 4.13.

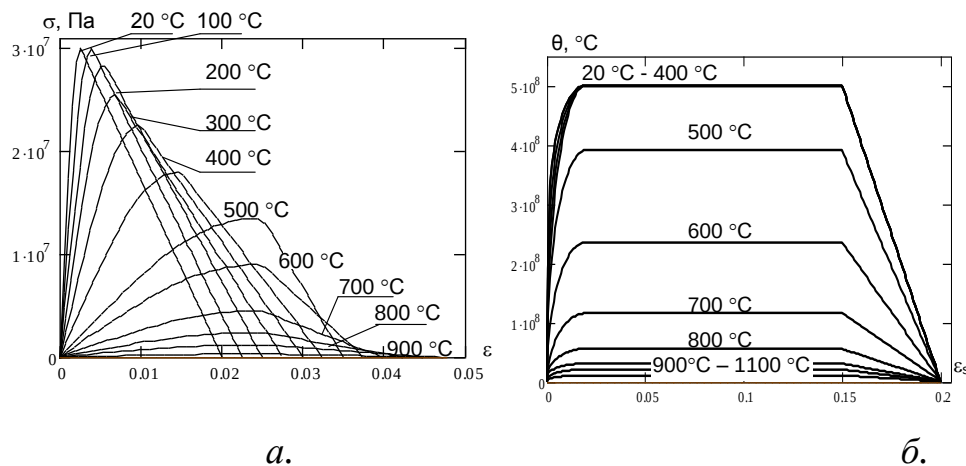


Рисунок 4.13. Діаграми деформування бетону (а) та арматурної сталі (б) [19]

Для розв'язування міцнісної задачі використовують зонний метод, який полягає у розділенні перерізу зони, яка на рівні ненагрітого бетону опирається механічним навантаженням та ушкодженої зони, яка не здатна опиратися силі механічного навантаження. Цей метод заснований на виконанні наступних процедур [19].

1. На n паралельних зон однакової товщини ділиться половина товщини перерізу, де $n \geq 3$.
2. Визначають середню температуру для кожної із зон.
3. За діаграмою зниження міцності бетону, для кожною із зон, залежно від температури визначають коефіцієнт зниження опору на стиск $k_c(\theta_i)$.
4. Визначають середній коефіцієнт зниження для перерізу елемента, разом із коефіцієнтом $(1-0,2/n)$, що враховує під час розрахунку зміну температури кожної зони за формулою [19]:

$$k_{c,m} = \frac{(1-0,2/n) \sum_{i=1}^n k_c(\theta_i)}{n}, \quad (4.13)$$

де n – кількість в ширині паралельних зон w ;

w – половина повної ширини;

m – кількість зон.

5. Ширину пошкодженої зони перерізу для стін, колон та інших елементів будівельних конструкцій із стискальними навантаженнями, визначають за формулою [19]:

$$a_z = w \left[1 - \left(\frac{k_{c,m}}{k_c(\theta_M)} \right)^{1,3} \right]. \quad (4.14)$$

Був побудований графік зниження несучої здатності за отриманими значеннями максимальних моментів який зображений на рис. 4.14.

У результаті виконаного розрахунку було встановлено, що межа вогнестійкості стіни висотою 4 м з розподіленим навантаженням 300 т за 60 хв, по втраті несучої здатності не настає, а ресурс несучої здатності становить 31 %.

На рис. 4.14 показано графік зниження несучої здатності стіни із запропонованими характеристиками.

$M, \text{Н}\cdot\text{м}$

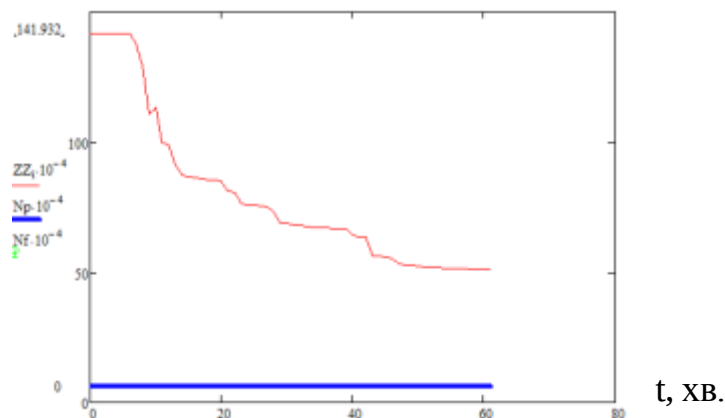


Рисунок 4.14 – Графік зниження несучої здатності стіни з розподіленим навантаженням 300 т

На рис. 4.14 продемонстровано зниження міцності стіни висотою 4 м з розподіленим навантаженням 300 т. Ці стіни відповідали характеристикам досліджуваного фрагмента та температурам прогрівання її шарів під час експерименту. Додатково вводились дані щодо висоти стіни та розподіленого навантаження, що запроєктоване під час конструювання об'єкту. Таким чином, можливо оцінити межу вогнестійкості для несучих стін з іншим робочим навантаженням та інших габаритів, змінивши їх.

4.4. Порівняльний аналіз оцінювання межі вогнестійкості несучих залізобетонних стін

Було порівняно результати, які отримані за запропонованим методом, з даними експериментального випробування на вогнестійкість несучої залізобетонної стіни [13]. Відповідно до протоколу випробування було отримано величини відхилень результатів запропонованого методу та випробувань на вогнестійкість схожої конструкції у вогневих установках.

Для цього додатково було виконано розрахунок межі вогнестійкості стіни аналогічного перерізу висотою 3 м з розподіленим навантаженням 300 т. Для врахування більшого часу прогрівання було виконано інтерполяцію результатів теплового впливу на стіну та виконано розрахунок з описаною вище методикою. Результати розрахунку представлено на рис. 4.14.

Для проведення випробування [13] використовувалась вогнева піч ВП-1 із навантажувальною рамою, інв. №20 (Атестат № 24-2/5983), приміщення для кондиціонування фрагментів ПКЗ-2, інв. №16 (Атестат № 24-2/0442).

Під час розрахунку [13] вводились дані, які зазначені в табл.4.2.

Таблиця 4.2 – Основні параметри залізобетонних фрагментів стін для випробування

Параметри	Умовні позначення	Значення	Одиниці виміру
Геометричні розміри: • ширина, • ширина захисного шару, • довжина стіни, • висота стіни	s w l h	0,2 0,02 3,2 3	м
Тип бетону	Важкий на гранітному заповнювачі	Клас С 30/35 (В30)	
Густина бетону	ρ_B	2300	кг/м ³
Водоцементне відношення	В/Ц	0,36	
Гранична вологість	u	< 3	%
Робоча арматура внутрішня: • діаметр	d ₁	Клас А500С 0,016	м
Робоча арматура зовнішня: • діаметр	d ₂	Клас А240С 0,016	м
Каркасна арматура: • діаметр	d ₃	Клас А240С 0,008	м

На рис. 4.15 продемонстровано, що межа вогнестійкості стіни досліджуваної товщини та параметрів армування довжиною 3 м за 150 хв по втраті несучої здатності не настає. Після 1 години випробувань міцність стіни майже не знижується, це можна пояснити двома факторами: нагрівання стіни одностороннє і арматура, що знаходиться з необігрівного боку, продовжує виконувати свої функції за умови цілісності захисного шару бетону та тим, що несуча стіна має достатню протяжність, тому її міцність у декілька разів вище. Аналогічні дані відображено у дисертаційному дослідженні [13], де наведено дані випробувань залізобетонних виробів, зокрема стінових елементів, для різних діаметрів арматури, різних класів міцності бетону та товщин захисного шару за розподіленого навантаження, що діє, різних товщин стін, а також виду армування. Порівняння отриманих результатів із відображеними у [13],

демонструє, що в обох випадках межа вогнестійкості по втраті несучої здатності не настає. Це свідчить про якість розробленого методу.

Додатково було проведено співставлення даних прогріву стін з необігрівної поверхні. Різниця показів термодатчиків не перевищила 10% [13]. Це також свідчить про адекватність розробленого методу, так як конструкції були хоч і виготовлені з матеріалів однакового маркування, проте, пісок, вода та щебінь були взяті у різних регіонах та різних станах. Саме тому у роботі наголошуємо, що всі матеріали та технології виготовлення повинні в точності відповідати тим, які будуть застосовувати на об'єктах будівництва.

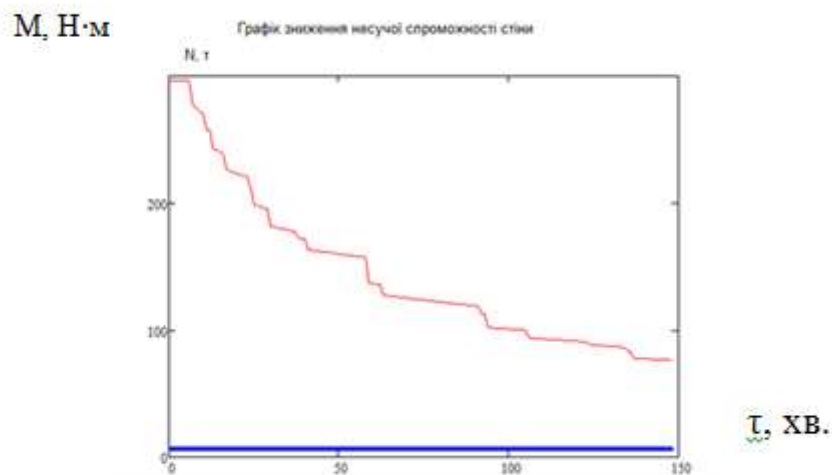


Рисунок 4.15. Графік зниження несучої спроможності стіни довжиною 3 м з розподіленим навантаженням 300 т, яку випробовували протягом 150 хв

Дані, що отримані під час експерименту, та дані експериментально-розрахункового методу підтверджують I ступінь вогнестійкості стіни з такими характеристиками. Таким чином, розрахунки можливо вважати адекватними.

4.5. Висновки до розділу

За результатами зробленої у розділі роботи представлено удосконалену розрахункову методику обчислення несучої здатності залізобетонних стін за

результатами виконання інтерполяції температурних полів у їхніх перерізах, що дає змогу оцінити їхню межу вогнестійкості.

1. Розроблено методику встановлення температурних розподілів шляхом інтерполяції на основі точкових замірів температури у отриманих місцях контролю під час експериментальних досліджень. Було використано загальну схему апроксимації, де враховано температуру певної точки перерізу стіни у визначений момент часу, температура першої та останньої точок у зазначений момент часу; кількість інтервалів між контрольними точками; показник ступеня параболи у визначений момент часу. Продемонстровано результати інтерполяції температур на 15, 30, 45, 60 хв дії стандартного температурного режиму пожежі.

2. Описано методику відновлення температурних розподілів у перерізі стінових елементів за точковими замірами на основі кваліфікаційного рівняння теплопровідності з використанням граничних умов III роду. Кінцево-різницева апроксимація рівняння виконана із застосуванням інтегро-інтерполяційного методу.

3. Для розрахування міцності обрано зонний метод та виконано розрахунок напружено-деформованого стану стіни за умови сумісної дії теплового та механічного навантаження з урахування габаритів реальної конструкції.

4. Виконано оцінювання межі вогнестійкості стіни висотою 4 м з розподіленням навантаженням 300 т. Після 60 хв ресурс несучої здатності становить 31 %, а настання одного із граничних станів не відбулося. Міцність стіни не знижується нижче критичної позначки для обраного навантаження, оскільки її нагрівання одностороннє і арматура, що знаходиться з необігрівного боку, продовжує виконувати свої функції за умови цілісності захисного шару бетону, а також стіна має достатню площу, тому її міцність, як правило, у декілька разів вище.

5. Отримані результати було порівняно з відомими опублікованими роботами. Виконаний порівняльний аналіз оцінювання межі вогнестійкості

стіни довжиною 3 м з розподіленим навантаженням 300 т підтвердив, що за час випробування фрагменту в 150 хв настання одного із граничних станів не відбулося. При цьому графіки зниження міцності мають схожий характер. Це свідчить про адекватність виконаного розрахунку.

6. Відповідно до отриманих у попередніх розділах результатів стало можливим сформулювати та обґрунтувати удосконалену експериментально-розрахункову методику з оцінювання межі вогнестійкості несучих залізобетонних стін і розглянути її в цілому.

РОЗДІЛ 5. ОБҐРУНТУВАННЯ УДОСКОНАЛЕНЬ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-РОЗРАХУНКОВОГО МЕТОДУ ОЦІНЮВАННЯ МЕЖІ ВОГНЕСТІЙКОСТІ НЕСУЧИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ СТІН

5.1. Загальний опис удосконаленої експериментально-розрахункової методики оцінювання межі вогнестійкості несучих залізобетонних стін

На основі розділів 1 – 4, в яких було досліджено та описано відомі існуючі вогневі установки, загальновідомі методи та засоби виконання вогневих випробувань, їхню актуальність; особливості комп'ютерного моделювання, етапи розроблення комп'ютерної моделі камери вогневої установки; особливості виконання експериментальних досліджень з нагрівання будівельних конструкцій; розрахункову частину методики оцінювання вогнестійкості несучих стін; було сформовано алгоритм, за яким доцільно виконувати оцінювання межі вогнестійкості за удосконаленим експериментально-розрахунковим методом, який представлений на рис. 5.1 як спрощена схема.

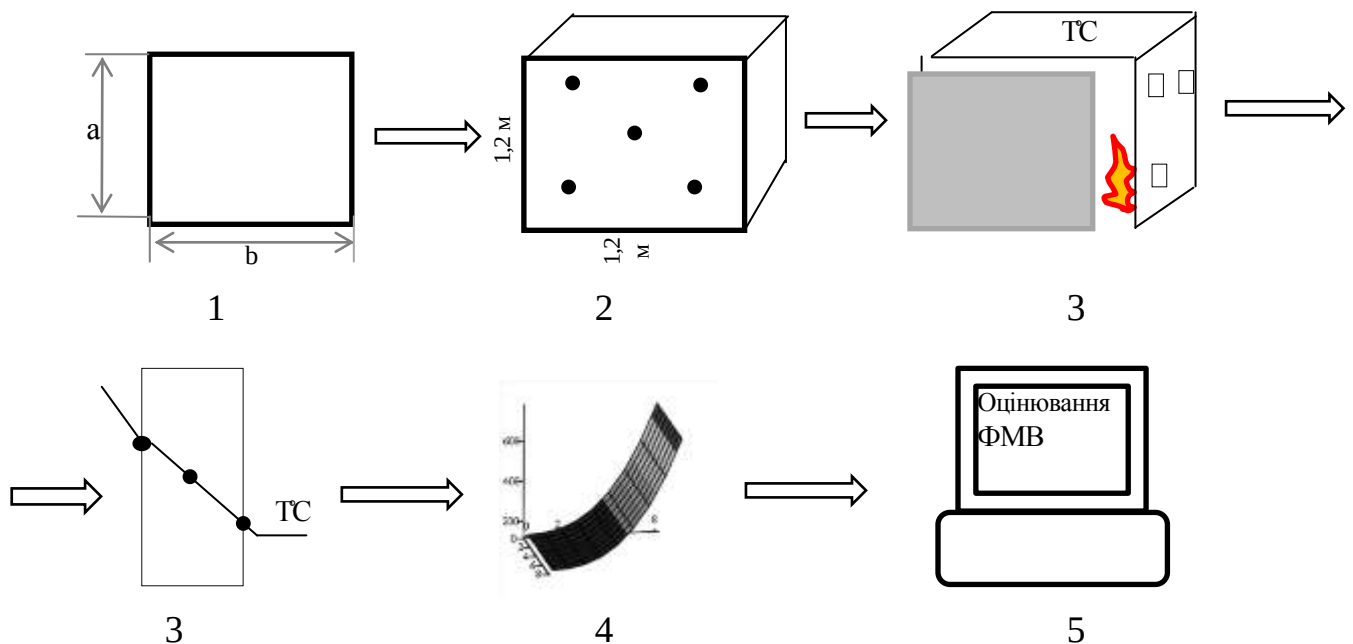


Рисунок 5.1. Спрощена схема удосконаленого експериментально-розрахункового методу оцінювання межі вогнестійкості несучих залізобетонних стін

Згідно із схемою на рис. 5.1. для оцінювання межі вогнестійкості несучих залізобетонних стін за допомогою удосконаленого експериментально-розрахункового методу спрощений алгоритм передбачає :

1. Схематичне відображення розмірів елемента, який виготовляють заздалегідь для нагрівання у камері вогневої установки.
2. Підготовка фрагменту до випробувань з установленням датчиків контролю температури у камері вогневої установки та у досліджуваному фрагменті.
3. Експериментальне випробування з нагрівання досліджуваного фрагмента у камері малогабаритної вогневої установки.
4. Розподілення температури у перерізі несучої залізобетонної стіни на кожній хвилині випробування на основі точкових замірів температур під час нагрівання у камері вогневої установки.
5. Оцінювання межі вогнестійкості розрахунковим шляхом.

Вище коротко описано спрощений алгоритм оцінювання межі вогнестійкості несучих залізобетонних стін, що дає змогу перейти до наступних розділів та зазначити деталі кожного пункту.

5.2. Вимоги щодо малогабаритної вогневої установки для дослідження теплового впливу пожежі на несучі залізобетонні стіни

Для виконання експериментальної частини з нагрівання фрагмента несучої залізобетонної стіни необхідно використовувати вогневу установку, яка буде забезпечувати основні вимоги:

1. Рівномірність прогрівання камери вогневої печі та відповідно обігрівної поверхні досліджуваного фрагмента. Для цього рекомендовано використовувати вогневу установку з мінімально можливим розміром камери вогневої печі, яка здатна забезпечити мінімальну необхідну відстань від факела полум'я, а висота установки має забезпечувати необхідний

мінімальний об'єм для циркуляції продуктів горіння, а отже і відтворення стандартного температурного режиму пожежі у камері вогневої установки.

2. Розміщення пальників. Пальники слід розміщувати таким чином, щоб забезпечити мінімально необхідну відстань від факелу полум'я, щоб уникнути непрямих впливів вогню на стіни та забезпечити рівномірне поширення теплового потоку. Тобто рекомендовано дотримуватися встановлених стандартів щодо мінімальної відстані між пальниками та стінами.

3. Отвір для відведення продуктів горіння. Отвір для відведення продуктів горіння рекомендовано розміщувати внизу на задній стінці камери вогневої печі з можливістю зміни його розміру.

Для прикладу, на рис. 5.2. зображено рекомендовані мінімально можливі геометричні параметри малогабаритної вогневої установки для дослідження теплового впливу пожежі на несучі залізобетонні стіни відповідно до виконаного розрахунку.

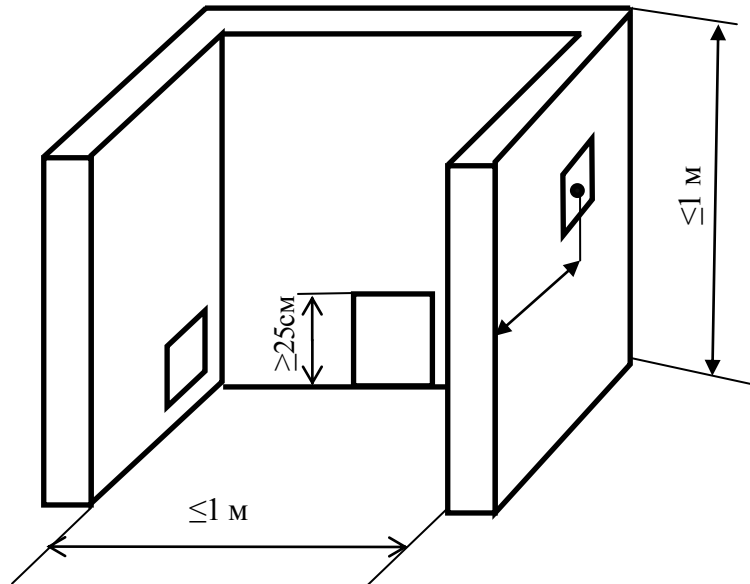


Рисунок 5.2. Рекомендовані мінімально можливі геометричні параметри малогабаритної вогневої установки для дослідження теплового впливу пожежі на несучі залізобетонні стіни

На прикладі діючої установки, описаної у розділі 3, необхідно дотримуватися такого алгоритму дій:

1. Камеру вогневої установки створювати п-подібної форми, яка дасть змогу за рахунок 2 знімні панелей випробовувати основні типи залізобетонних конструкцій, таких, як стіна, плита, балка чи колона та завдяки правильно розміщеним 4 отворам для встановлення пальників з можливістю змінювати їхнє розташування залежно від виду елемента конструкції, що буде досліджуватись, забезпечувати водночас рівномірність теплового потоку.

2. Знімні панелі виготовляти з металевого каркасу, який наповнено мінеральною ватою, яка витримуватиме температуру в 1 000 °С, та листа із нержавіючої сталі.

3. Відповідно до виконаних розрахунків мінімально можлива висота розташування отвору для відведення продуктів горіння 0,8 м, який рекомендовано розташовувати у нижньому положенні стіни вогневої установки по центру.

4. Для створення відповідного температурного режиму у камері вогневої установки рекомендовано використовувати газ – це більш екологічно чисте паливо і в ньому міститься набагато менше шкідливих речовин, у тому числі CO₂ (менше майже у два рази). Для рівномірного прогрівання камери вогневої установки газ рекомендовано подавати за допомогою двох газових балонів з редукторами, які необхідно встановити на безпечну відстань від вогневої установки.

5. Пристрій, який використовують для спалювання газоподібного палива – пальник газоповітряний з довжиною пальника ≤ 715 мм, діаметром сопла ≤ 76 мм, кількість – 2 шт.

6. Для контролю температурного режиму у камері вогневої установки та у досліджуваному фрагменті необхідно встановити термопари з діапазоном вимірювання температури від 0 °С до 1 300 °С та термістори з діапазоном вимірювання температури від 30 °С до 300 °С, кількість визначають залежно від

виду досліджуваного фрагмента. Рекомендовані місця розташування датчиків контролю температури у фрагменті несучої залізобетонної стіни.

7. Для зняття цифрових значень температури рекомендовано використовувати спеціальний технічний вимірювальний засіб, який дозволяє вимірювати температуру з чутливістю в 0,25 °C., який враховує температуру холодних спаїв й автоматично вносить поправки у значення вимірювання температури, та одночасно транслює температуру у камері вогневої установки, досліджуваному фрагменті на засоби комп'ютерної техніки (ноутбук).

5.3. Вимоги щодо створення фрагмента залізобетонної несучої стіни для виконання експериментальної частини удосконаленої методики оцінювання межі вогнестійкості

Для виконання експериментального дослідження необхідно виготовити як мінімум 3 фрагмента залізобетонних несучих стін, щоб перевірити відтворюваність отриманих даних температури.

Фрагмент залізобетонної несучої стіни рекомендовано виготовляти за допомогою стандартної розбірної опалубки, витримуючи елемент конструкції в ній впродовж 7 діб, а після розпалубки фрагмент необхідно зберігати протягом 28 діб в закритому приміщенні та нормальних умовах температури і вологості до початку експерименту.

Дозування складових рекомендовано виконувати за допомогою вагових дозаторів, які будуть забезпечувати високу точність вимірювання маси компонентів бетонної суміші. Це важливо для отримання консистентної та якісної суміші. Перемішувати бетонну суміш потрібно за допомогою бетономішалки, а ущільнювати її необхідно глибинними вібраторами.

З метою посилення міцності залізобетонної стіни необхідно використовувати арматуру: основну та допоміжну. Основна арматура може бути розташована як у вертикальних, так і у горизонтальних напрямках

залежно від призначення стіни. Допоміжну арматуру, використовують для підсилення місць зі збільшеними напруженнями, наприклад, в ділянках зі змінною товщиною стіни. Це допомагає запобігти тріщинам та руйнуванню під час теплового впливу на стіну. Під час обирання та розміщення арматури слід керуватися інженерними розрахунками та вимогами стандартів будівельних норм.

Вологість фрагментів має бути врівноваженою з навколишнім середовищем із відносною вологістю від 45 до 75 %, можливе природне або штучне сушіння фрагментів за температури повітря, що не перевищує 60 °C.

Також відповідно до [1] на обігрівній поверхні досліджуваної конструкції необхідно встановити щонайменше одну термопару на 1 м², але не менше п'яти.

Відповідно до нашого експериментального дослідження та отримання достатніх даних для виконання подальшого розрахунку на рис. 5.3. відображений приклад схеми розташування датчиків контролю температури у досліджуваному фрагменті.

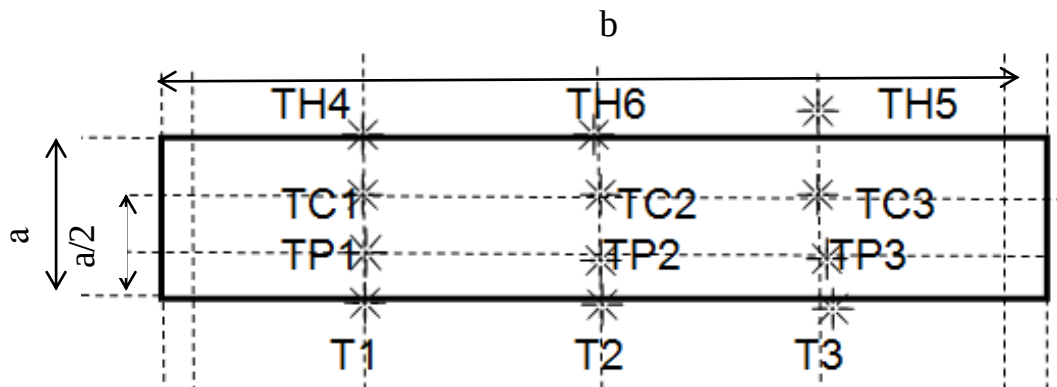


Рисунок 5.3. Приклад схеми розташування датчиків контролю температури у досліджуваному фрагменті: T1, T2, T3 – термопари встановлені на обігрівній поверхні; TP1, TP2, TP3 – термопари на рівні арматури; TH4, TH5, TH6 – терморезистори на необігрівній поверхні з діапазоном вимірювання температури від 5 до 300 °C ; TC1, TC2, TC3 – терморезистори по середині перерізу стіни

Розташування датчиків контролю температури у залізобетонній стіні повинно відповідати основним вимогам для ефективного та точного вимірювання температури. Ось кілька основних вимог, які слід враховувати.

1. Для отримання повної інформації про температурний режим у стіні рекомендують розташовувати датчики на різних глибинах, тобто на рівні арматури, ближче до поверхні та в середині перерізу стіни.

2. Датчики повинні бути розташовані рівномірно по всій площі стіни для забезпечення репрезентативного вимірювання температури. Це допомагає виявляти нерівномірні температурні розподілення та ідентифікувати гарячі або холодні зони.

3. Розташування датчиків повинно бути таким, щоб мінімізувати вплив на міцність та структурну цілісність стіни.

Вимоги щодо розташування датчиків контролю температури у будівельній конструкції можуть варіюватися залежно від типу конструкції та відповідних стандартів і вимог.

5.4. Алгоритм виконання експериментального дослідження з нагрівання несучої залізобетонної стіни за стандартним температурним режимом пожежі

До початку експерименту необхідно зафіксувати дату виконання, температуру та вологість повітря, заміряти габаритні розміри фрагмента та його товщину.

Для виконання експериментального дослідження з нагрівання залізобетонної стіни у створеній малогабаритній вогневій установці для дослідження теплового впливу пожежі на будівельні конструкції необхідно виконувати наступні дії.

1. Установити фрагмент для дослідження до п-подібного огороження печі, встановити фрагмент залізобетонної несучої стіни в передній частині установки, а верхню частину установки закрити знімною панеллю.

2. Розмістити ущільнювач між стінками камери вогневої установки та знімною панеллю.

3. Для створення відповідного температурного режиму необхідно використовувати 2 пальники, які розмістити зверху і знизу дальньої частини установки, щоб не були в контакті один з одним факели полум'я та знаходились в 80 см до випробувального фрагмента. Для недопущення вивітрювання пічних газів через отвори, які не задіяні в експерименті з прогрівання стін, місця для пальників, які не використовуються під час випробування стіни закласти мінеральною ватою.

4. Датчики контролю температури необхідно встановити у заздалегідь створені отвори відповідно до досліджуваного фрагмента. В третьому розділі було продемонстровано приклад виконання камери установки та розміщення датчиків для замірювання температури. Якщо конфігурацію установки буде змінено, то необхідно виконати додаткові розрахунки за допомогою комп'ютерного моделювання і розмістити відповідно до отриманих результатів. Рекомендації і приклад розміщення датчиків контролю температури описані у третьому розділі.

5. Далі запалюємо пальники, які встановлено у отвори для пальників, та за допомогою подавання газу з газового балону, у середині камери установки створюється заданий температурний режим. В нижній частині камери установки розміщено отвір для відведення продуктів горіння. Контроль температури досліджуваного фрагмента здійснюють за допомогою спеціальних технічних засобів, а результати вогневих експериментів оброблюють відповідно до чинних стандартів. Таким чином отримаємо експериментальні дані, які лягають в основу розрахункової методики, та відповідно визначаємо фактичну межу вогнестійкості.

В цілому, виконання описаного алгоритму дозволяє здійснити експериментальне дослідження теплового впливу пожежі на несучу залізобетонну стіну та отримати експериментальні дані для подальшого

оцінювання межі вогнестійкості конструкції розрахунковим шляхом і відповідно вдосконалення конструкцій й нормативно-технічної бази.

5.5 Необхідний результат експериментального дослідження для оцінювання межі вогнестійкості несучих залізобетонних стін

Під час виконання експериментального дослідження з нагрівання фрагмента несучої залізобетонної стіни температура в печі повинна відповідати вимогам, які регламентовані стандартом. Для прикладу в третьому розділі описано, що в момент досягнення значення 980 °С на 28 хвилині було встановлено стаціонарний режим за допомогою регулювання потужності нагрівання камери печі. Експеримент з нагрівання фрагмента несучої залізобетонної стіни тривав 60 хв. Але час виконання експерименту визначають відповідно до конструкції, яку досліджують, та відповідно яка властива для неї межа вогнестійкості, якщо це, наприклад конструкція, якій достатньо 180 хв, тоді і експериментальні дані потрібно на кожній хвилині експерименту протягом зазначеного часу.

Після виконання експериментального дослідження з нагрівання стіни для подальшого розрахунку оцінювання межі вогнестійкості розрахунковим шляхом необхідно отримати та встановити дані, що описані нижче.

1. Візуальним оглядом, необхідно встановити, чи не відбулося втрати цілісності, тепло ізолювальної і несучої здатності фрагмента.

2. Необхідно мати дані про залежність температури в різних точках залізобетонної стіни від часу в процесі експерименту. Це може бути представлено у вигляді графіка, де по горизонтальній осі відкладений час, а по вертикальній осі – температура.

3. Прогрівання конструкції на всіх рівнях повинне бути рівномірним у площинах розміщення термопар, приклад розміщення датчиків контролю температури відображено на рис. 5.3. для виконання експериментального дослідження з нагрівання залізобетонної несучої стіни.

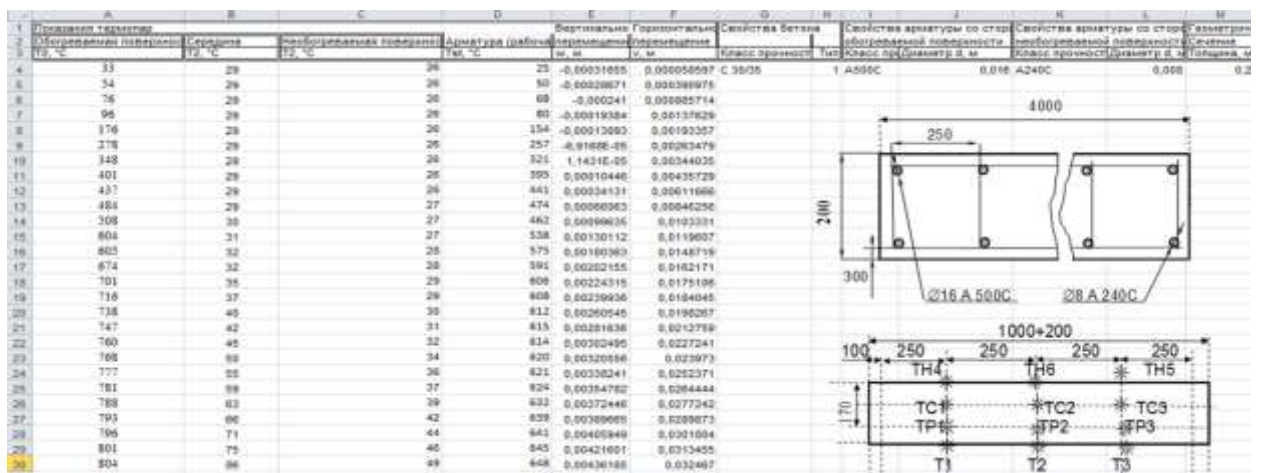
4. Температура на необігрівній поверхні не повинна перевищувати 140°C.
5. Необхідно знати, клас бетону та арматури з обігрівної сторони та необігрівній, її діаметр та крок.
6. Необхідно заміряти довжину, товщину та товщину захисного шару залізобетонної несучої стіни.
7. Вказати запроєктоване навантаження на конструкцію.

Ці отримані результати експериментального дослідження будуть використані для виконання подальших розрахунків, оцінювання межі вогнестійкості залізобетонних несучих стін.

5.6. Методика відновлення температурних полів

Методику використовують для оцінювання межі вогнестійкості елементів будівельних конструкцій, зокрема ти, які підпадають під вплив теплового потоку за умови одностороннього нагрівання.

На основі отриманих результатів експериментального дослідження необхідно закласти основні дані, які детально описані у розділі 4, в Excel, а потім перенести в Mathcad (рис. 5.4 – 5.5.).



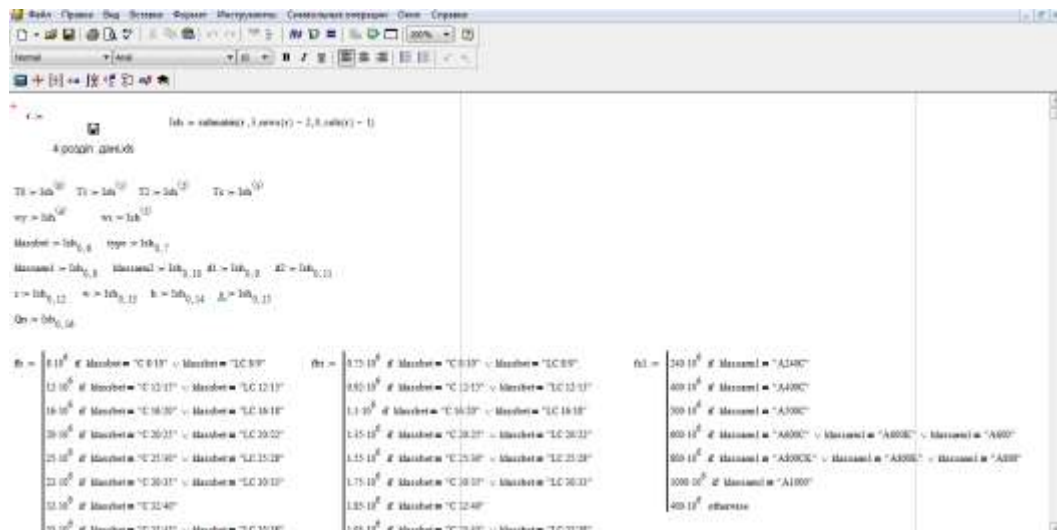


Рисунок 5.5. Лістинг першої сторінки Mathcad для оцінювання межі вогнестійкості

В процесі розрахунку ми отримуємо візуальне відображення інтерполяції даних (рис. 5.6.) на основі закладеної інформації на сторінці введення результатів (рис. 5.4.), у разі зміни даних інтерполяція температур буде змінюватися залежно від вхідних даних.

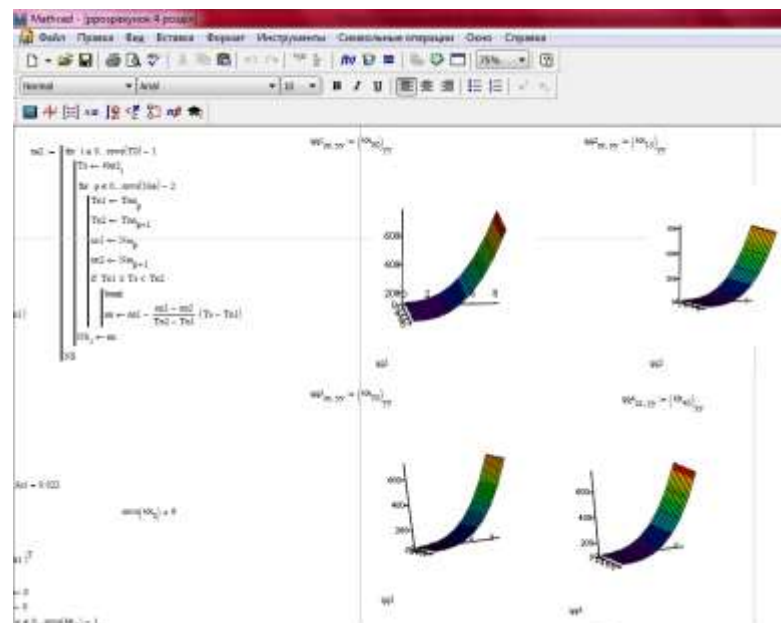


Рисунок 5.6. Приклад результату виконаної інтерполяції за значеннями термопар визначених місць перерізу несучої стіни

Для здійснення інтерполяції температур згідно з рекомендаціями [12] були взяті результати розрахунку теплової задачі для перерізу несучої залізобетонної стіни.

5.7. Розрахунок міцності бетону фрагмента несучої залізобетонної стіни на основі теплових значень за удосконаленою методикою

Для розв'язування задачі міцності використовують зонний метод, який полягає у розділенні перерізу стіни на зону, яка опирається механічним навантаженням на рівні ненагрітого бетону та ушкодженої зони, яка не здатна опиратися силовій дії механічного навантаження. Для цього необхідно виконати описані нижче дії.

1. Характеристики залізобетону необхідно взяти з рекомендацій [12], які залежать від температури його нагрівання.

2. На n паралельних зон однакової товщини поділити половину товщини перерізу, де $n \geq 3$.

2. Визначати середню температуру для кожної із зон.

3. За діаграмою зниження міцності бетону залежно від температури для кожної із зон визначити відповідний коефіцієнт зниження опору на стиск $k_c(\theta_i)$

4. Визначити коефіцієнт $(1 - 0,2/n)$, який враховують під час розрахунку зміни температури кожної зони за формулою (4.12) та середній коефіцієнт зниження опору на стиск, для перерізу елементу.

5. Далі необхідно визначити, ширину пошкодженої зони перерізу для стін із стискальними навантаженнями, формула (4.13).

За отриманими значеннями максимальних моментів будують графік зниження несучої здатності залізобетонної стіни, із зазначеними характеристиками. Цей графік зображено на рис. 5.7.

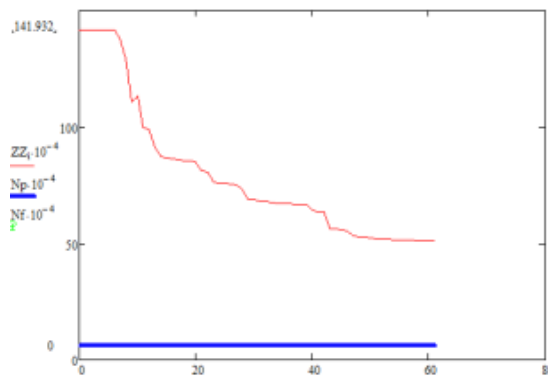


Рисунок 5.7. Графік зниження несучої здатності стіни з розподіленим навантаженням 300 т

На рис. 5.7. показані отримані результати. Дані стіни відповідали характеристикам досліджуваного фрагмента та температурам прогрівання її шарів під час експерименту. У результаті виконаного розрахунку було визначено, що межа вогнестійкості стіни висотою 4 м з розподіленим навантаженням 300 т за 60 хв, по втраті несучої здатності не настає, а ресурс несучої здатності становить 31 %.

5.8. Аналіз точності результатів оцінювання межі вогнестійкості несучих стін за удосконаленим експериментально-розрахунковим методом

Перевіряння адекватності проведених експериментів необхідна для визначення, наскільки експерименти здатні до відтворення результатів, тобто переконатися в достовірності та точності отриманих даних, та чи відповідають випробування встановленим вимогам стандартів. Це важливо для забезпечення надійності і якості матеріалів, які були піддані вогневим випробуванням. Некоректне перевіряння може призвести до недостовірних висновків.

Щоб перевірити адекватність отриманих експериментальних даних, необхідно виконати три ідентичних випробування з нагрівання одночасно виготовлених стін у вогневій установці, що підтвердить достовірність та

стабільність отриманих результатів. Виконання мінімум трьох вогневих експериментів має переваги з точки зору статистичної достовірності. Коли виконують більше двох експериментів, відповідно тоді можна зробити статистичний аналіз, щоб оцінити рівень значущості відхилень між розрахунковими та експериментальними значеннями.

Відповідно до робіт [34, 91, 110] доцільно перевірити адекватність виконаних експериментів. Для цього необхідно розрахувати відносні, абсолютну похибки експериментальних даних та для послідовного порівняння дисперсій показів температур кожного датчику контролю температур, які розташовані у досліджуваному фрагменті, з дисперсією відтворюваності експериментальних досліджень.

За допомогою F-критерію Фішера необхідно перевірити гіпотезу про рівність генеральних дисперсій, розподіл температур на кожній хвилині експерименту відповідно до формули (3.7.).

Для того, щоб розрахувати дисперсію адекватності, яку виконують на основі отриманих даних з нагрівання стін у вогневій установці, як відхилення між показами конкретної термопари та середнього значення температур всіх трьох експериментів відповідного їй місця замірювання температур, необхідно використовувати формулу (3.8).

Дисперсію відтворюваності розраховують як відхилення температури конкретної термопари та середнього значення температури по всіх дослідах у місцях її розташування з урахуванням похибки термопар відповідно до формули (3.9).

Відповідно до виконаних розрахунків отримуємо абсолютне та відносне відхилення і критерій адекватності (F-критерій Фішера), що підтверджує або не підтверджує адекватність експериментальних даних.

У третьому розділі наведено приклад подібної перевірки, де відповідно до отриманих даних виконаного експериментального дослідження розраховано відносну і абсолютну похибки та відповідно (F-критерій Фішера).

Адекватність розрахунку температурного поля у фрагментах несучих залізобетонних стін може бути оцінена на основі порівняння результатів розрахунку з експериментальними даними. Для цього необхідно виконати експериментальне дослідження, де вимірюють температуру в різних точках стіни і порівнюють зі значеннями, отриманими з розрахункової моделі.

Якщо розрахункові значення температур відповідають експериментальним даним з прийнятною точністю, то можна стверджувати, що розрахунок температурного поля у фрагментах несучих стін є адекватним. Однак, якщо виявлено значні відхилення між розрахунковими та експериментальними значеннями, то може бути необхідно переглянути вживані припущення та моделі, а також здійснити додаткові експерименти для виявлення можливих причин таких відхилень.

Метод апроксимації температурних розподілів на основі точкових замірів температури, отриманих під час нагрівання несучої залізобетонної стіни за стандартним температурним режимом пожежі, описано у четвертому розділі нашого дисертаційного дослідження.

Розрахунок виконують за аналогічними формулами (3.8) – (3.9), але дисперсія адекватності розраховують, як безпосереднє відхилення у цій точці.

Дисперсія відтворюваності повинна враховувати розрахункову похибку не тільки між отриманими розрахунковими даними, а і між трьома експериментами.

5.9. Схема проведення удосконаленого експериментально-розрахункового методу оцінювання межі вогнестійкості несучих стін

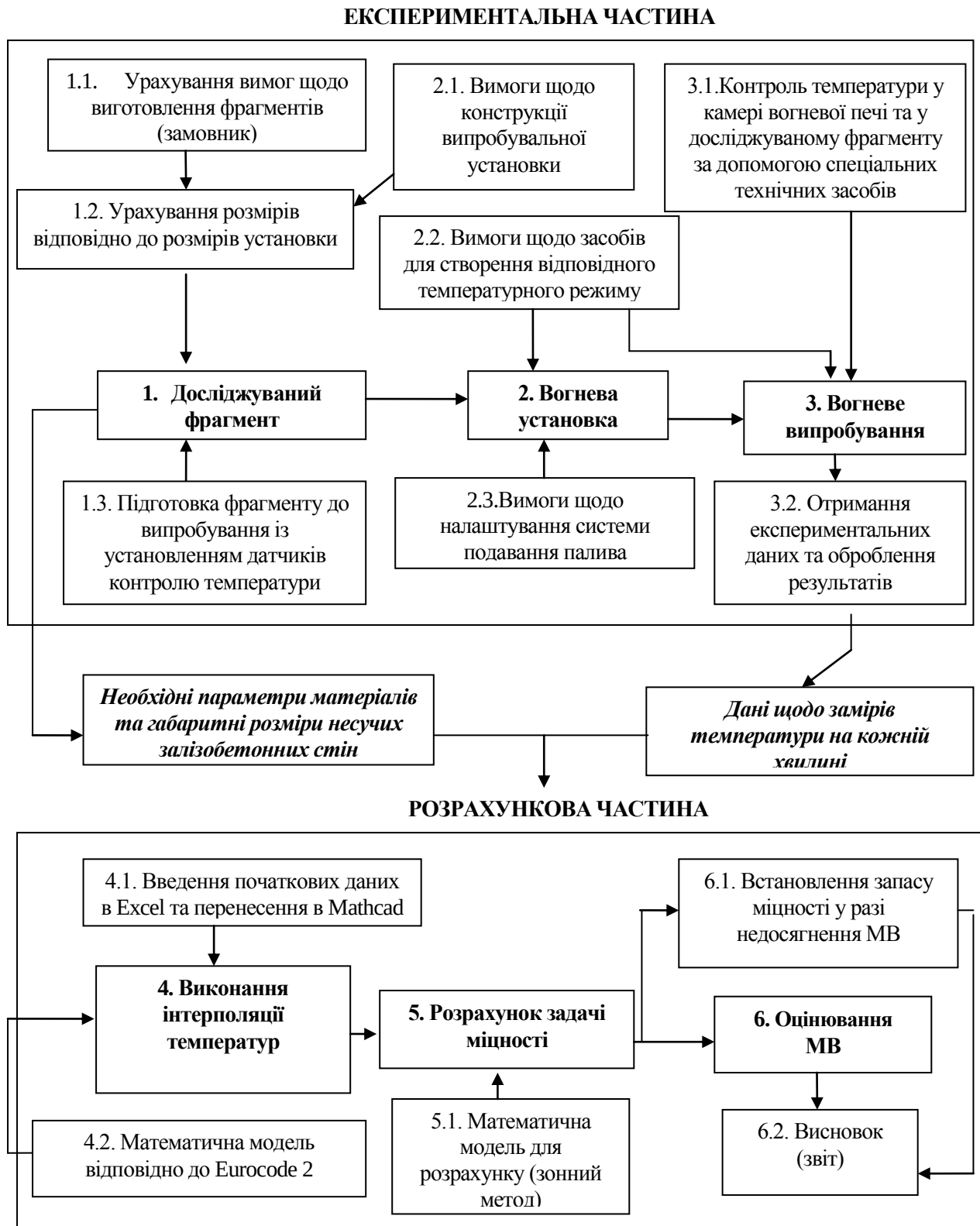


Рисунок 5.8. Схема проведення удосконаленого експериментально-розрахункового методу оцінювання межі вогнестійкості несучих залізобетонних стін

Для оцінювання межі вогнестійкості несучих залізобетонних стін удосконаленим експериментально-розрахунковим методом відповідно до вищезазначеної схеми необхідно виконати зазначені дії.

1. Фрагмент залізобетонної несучої стіни, який встановлюють в камеру вогневої печі для нагрівання.

1.1. Вимоги щодо виготовлення фрагмента відповідно до вимог замовника, де враховано товщина, товщина захисного шару, висота конструкції, тип та клас бетону, його густина та діаметри основної і допоміжної арматур.

1.2. Врахування вимог щодо мінімальних розмірів фрагментів, які регламентовано стандартами, щодо методів випробування на вогнестійкість конструкцій конкретних типів.

1.3. Підготовка фрагмента до випробування: встановлення фрагмента несучої залізобетонної стіни для дослідження теплового впливу пожежі на залізобетонні будівельні конструкції у малогабаритну вогневу установку, розміщення датчиків контролю температури у камері вогневої печі та у досліджуваному фрагменті.

2. Створення удосконаленої малогабаритної вогневої установки для дослідження теплового впливу пожежі на будівельні конструкції з відповідними отворами для пальників, отвором для відведення продуктів горіння та паливною системою для створення температурного режиму пожежі, який регламентований стандартом.

2.1. Врахування вимог щодо створення конструкції малогабаритної вогневої установки для дослідження теплового впливу пожежі на будівельні конструкції: мінімально необхідні габаритні розміри, п-подібна форма печі та створення двох знімних панелей, що дають можливість досліджувати основні типи залізобетонних конструкцій.

2.2. Вимоги щодо засобів для створення відповідного температурного режиму. Розміщення пальників впливає на рівномірність розподілу температури по обігрівній поверхні досліджуваного фрагмента будівельної

конструкції. Для цього 2 пальники необхідно розмістити у визначені отвори відповідно до конструкції, що досліджують.

2.3. Врахування вимог щодо налаштування системи подавання палива. Для цього необхідно під'єднати до пальників два газові балони з регулювальним апаратом та розмістити їх на безпечній відстані.

3. Виконання експерименту з нагрівання фрагмента несучої залізобетонної стіни у створеній малогабаритній вогневій установці.

3.1. До початку виконання експерименту необхідно встановити термопари й терморезистори у камері вогневої печі та у досліджуваному фрагменті відповідно до попередньо розробленої схеми розташування датчиків контролю температури для можливості контролю температури в реальному часі.

3.2. Отримання експериментальних даних та оброблення результатів. Відповідно до виконаного експериментального дослідження отримаємо дані датчиків контролю температури у визначених місцях. Також візуальним оглядом необхідно встановити, чи відбулась втрата цілісності, тепло ізолювальної чи несучої здатності фрагмента.

Для виконання розрахункової частини необхідно підготувати наступні дані: параметри матеріалів, що досліджувались, габаритні розміри несучих залізобетонних стін та дані щодо отриманих замірів температури на кожній хвилині у необхідних місцях контролю температури.

4. Виконання інтерполяції температур на основні отриманих даних з нагрівання фрагмента несучої залізобетонної стіни у малогабаритній вогневій установці.

4.1. Необхідно ввести основні дані в таблицю Excel, такі, як висота, товщина, товщина захисного шару досліджуваного фрагменту, клас міцності арматури та бетону, діаметри арматури, тип крупного заповнювача бетону, розташування та кількість стержнів, які показано на рис. 4.7., дані щодо геометричних розмірів перерізу стіни, розрахункова довжина стіни та розподілене навантаження, а потім перенести ці дані в Mathcad.

4.2. Обрати математичну модель для виконання інтерполяції температур та розрахувати розподіл температури у перерізі несучої залізобетонної стіни на кожній хвилині випробування на основі точкових замірів температур у середині стіни в процесі нагрівання у печі.

5. Виконання розрахунку задачі міцності фрагмента несучої залізобетонної стіни на основі отриманих теплових значень.

5.1. Для виконання розрахунку міцності необхідно обрати математичну модель відповідно до необхідної точності та підготовленості оператора і виконати розрахунок напружено-деформованого стану стіни за умови сумісної дії теплового та механічного навантаження з урахування габаритів реальної конструкції.

6. Оцінювання межі вогнестійкості фрагмента несучої залізобетонної стіни на основі отриманих експериментальних даних розрахунковим шляхом.

6.1. Встановити запас міцності у разі недосягнення межі вогнестійкості.

6.2. Підготувати висновок (звіт) про отримані результати межі вогнестійкості несучої залізобетонної стіни на основі виконаного удосконаленого експериментально-розрахункового методу оцінювання межі вогнестійкості залізобетонних конструкцій.

В цьому розділі було розглянуто схему, в основі якої лежать 6 основних етапів методики та 13 додаткових. Відповідно до вищеописаної удосконаленої схеми оцінювання межі вогнестійкості експериментально-розрахунковим шляхом можливо встановити фактичну межу вогнестійкості несучих залізобетонних стін.

5.10. Висновки до розділу

У цьому розділі дисертаційного дослідження було розроблено, описано та обґрунтовано удосконалену експериментально-розрахункову методику оцінювання межі вогнестійкості несучих залізобетонних стін. Запропонована методика дозволяє більш ефективно порівняно з існуючими встановлювати

межу вогнестійкості залізобетонних стін на основі врахування як особливостей матеріалів конструкції, так і прикладених до неї в процесі експлуатації механічних навантажень.

У процесі виконання дослідження отримано такі основні результати:

1. Обґрунтовано, розроблено та пояснено удосконалену схему виконання експериментально-розрахункового методу оцінювання межі вогнестійкості несучих залізобетонних стін, яка складається з 6 основних, блоків для застосування яких використано 13 додаткових. Схема передбачає виготовлення фрагмента визначених розмірів з матеріалів, які передбачено для виготовлення повномасштабних конструкцій, нагрівання у спеціальній малогабаритній установці та подальшого розрахунку міцності.

2. Доведено, що можливо та доцільно забезпечити розміри досліджуваного фрагмента відповідно до конструкції малогабаритної вогневої установки, що мають перевищувати на 20 мм з кожної сторони у зв'язку з тим, що це необхідно для забезпечення герметичності прилягання досліджуваного фрагмента до камери печі.

3. Встановлено, що можливо створювати як спеціалізовані під стіни конфігурацію установки так і універсальні, що за рахунок п-подібної форми камери вогневої печі допускають використання 1-ої або 2-ох знімних панелей. Універсальність може бути забезпечено улаштуванням 4-ох отворів для встановлення пальників, з можливістю змінювати їхнє розташування залежно від виду елемента конструкції. Проте для випробування несучих стін необхідним і достатнім є використання 2-ох пальників, відстань до яких має бути від 0,8 до 1 м. Обґрунтовано місця їхнього розташування.

4. Визначено основні необхідні дані, які отримані експериментальним шляхом, такі, як температура на обігрівній, необігрівній поверхні, арматурі та посередині перерізу стіни; висота, товщина, товщина захисного шару досліджуваного фрагменту, клас міцності арматури та бетону, діаметри арматури, тип крупного заповнювача бетону, кількість та розташування

стержнів, ці дані є вхідними даними для виконання розрахунку міцності несучих залізобетонних стін.

5. Встановлено, що для виконання перевірки адекватності рекомендовано використання відносного відхилення F-критерію Фішера, з цією метою необхідно виконувати 3 ідентичні випробування, що підтвердить достовірність та стабільність отриманих результатів. Коли виконано більше двох експериментів, відповідно тоді можна зробити статистичний аналіз, щоб оцінити рівень значущості відхилень між розрахунковими та експериментальними значеннями.

ВИСНОВКИ

У дисертації, яка є завершеним науковим дослідженням, представлені результати виконаного актуального науково-практичного завдання щодо створення наукового підґрунтя для удосконалення експериментально-розрахункового методу оцінювання межі вогнестійкості несучих залізобетонних стін без прикладання механічного навантаження під час нагрівання в малогабаритних вогневих установках та подальшого аналітичного розрахунку міцнісних характеристик конструкцій.

На основі отриманих даних було сформовано такі висновки:

1. На основі аналізу актуальних наукових публікацій та вимог нормативних документів з оцінювання межі вогнестійкості несучих залізобетонних стін виявлено, що експериментальні, розрахункові та експериментально-розрахункові методи оцінювання межі вогнестійкості мають недоліки, які полягають в неможливості враховувати одночасні температурно-силові впливи на несучі залізобетонні стіни під час пожежі та в забезпеченні відтворюваності результатів оцінювання їх межі вогнестійкості. Ці недоліки було проаналізовано та виділено шляхи удосконалення найперспективнішого з них, а саме експериментально-розрахункового методу.

2. У процесі досліджень було встановлено, що для комп'ютерного моделювання та подальшого удосконалення реальної установки можливо використовувати два програмних комплекси FDS та FlowVision, за рахунок їхнього використання визначено рівномірний розподіл температури у камері вогневої печі та найменш можливі розміри внутрішнього простору камери печі від 1 м^3 до 2 м^3 . Це дає можливість використовувати 2 пальники, відстань до яких має бути від 0,8 до 1 м, а також може забезпечувати універсальність для дослідження теплового впливу пожежі на основні типи залізобетонних будівельних конструкцій.

3. З метою удосконалення малогабаритної вогневої установки розроблено систему метрологічного забезпечення для виконання вогневих

випробувань, яка одночасно визначає температуру в середині камери вогневої печі та у досліджуваному фрагменті і транслює отримані результати на засоби комп'ютерної техніки (ноутбук). Тому було створено модуль аналого-цифрового перетворення сигналу термопар, який має 12 термопар та термісторів, але має можливість містити до 56 датчиків контролю температури.

4. Використовуючи удосконалену малогабаритну вогневу установку для дослідження теплового впливу на будівельні конструкції, виконано експериментальні дослідження залізобетонних стін без дії механічного навантаження та отримано експериментальні дані для виконання подальшого розрахунку міцності. Було обґрунтовано місця встановлення датчиків контролю температури та їхню мінімальну кількість: на обігрівній поверхні та на рівні арматури – 6 термопар, на необігрівній поверхні – 3 терморезистори та посередині перерізу стіни – 3 терморезистори, що зменшує кількість засобів вимірювальних приладів на 30 % у порівнянні з рекомендаціями нормативних документів за рахунок забезпечення рівномірності прогріву. Це знижує втручання в цілісність фрагменту який нагрівають у печі.

5. Підтверджено адекватність експериментальних даних на підставі отриманої інформації, внаслідок експериментів з нагрівання малогабаритних фрагментів несучих залізобетонних стін: розраховані критерії адекватності (F-критерій Фішера) нижче за критичне значення, а відносне відхилення не перевищило 3% у трьох експериментах між собою, що свідчить про високу відтворюваність результатів експериментів.

6. Встановлено, що для виконання інтерполяції температур на основні отриманих даних з нагрівання фрагмента несучої залізобетонної стіни у малогабаритній вогневій установці, необхідні дані про висоту та товщину запроєктованої стіни, товщину захисного шару бетону досліджуваного фрагменту, виду армування, тип крупного заповнювача бетону, клас міцності арматури та бетону, діаметри арматури. Далі в процесі розрахунку можливо змінювати висоту стіни та величину навантаження на неї і отримувати дані

щодо межі оцінювання вогнестійкості конструкції. Було детально описано алгоритм та створено розрахункову модель за допомогою поєднання програмних комплексів Excel (виконує роль препроцесора) та Mathcad (виконує роль постпроцесора).

7. Науково удосконалено експериментально-розрахунковий метод оцінювання межі вогнестійкості несучих залізобетонних стін на основі випробування їхніх фрагментів у малогабаритних вогневих установках та проведення подальшого розрахунку міцності. Також за її допомоги виконано оцінювання межі вогнестійкості несучих залізобетонних стін за несучою здатністю за умови застосування розрахунку на міцність на основі отриманих експериментальних даних. Такий метод заснований на односторонньому нагріванні залізобетонної стіни висотою 4 м, товщиною 0,20 м, товщиною захисного шару 0,3 м за стандартним температурним режимом пожежі у малогабаритній вогневій установці без прикладення механічного навантаження згідно з вимогами стандартів. Відповідно межа вогнестійкості стіни висотою 4 м з розподіленим навантаженням 300 т за 60 хв, по втраті несучої здатності не настає, а ресурс несучої здатності становить 31 %.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Україна. Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житловокомунального господарства. (2005). *ДСТУ Б В.1.1-4-98: Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги. Пожежна безпека (ISO 834: 1975)*. [Чинний від 1998-10-28.]. К. : Укрархбудінформ. (Національний стандарт України). ДСТУ Б В.1.1-4-98.
2. Україна. Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житловокомунального господарства. (2005). *ДСТУ Б В.1.1-19-2007: Захист від пожежі. Несучі стіни. Метод випробування на вогнестійкість*. [Чинний від 2007-06-15.]. К.: Укрархбудінформ. (Національний стандарт України).
3. European Committee for Standardization. (2000). *ISO 834-75 Fire resistance test. Elements of building constructions*. Brussels.
4. European Committee for Standardization. (2002). *EN 13501-1:2002 “Fire classification of construction products and building elements” – Part 1.2*. Brussels.
5. European Committee for Standardization. (2004). *EN 1992-1-2:2005 Eurocode 2: Design of concrete structures Part 1-2: General rules - Structural fire design*. Brussels.
6. Україна. Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житловокомунального господарства. (2016). *ДБН В.1.1-7-2016: Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва*. К. : Мінрегіонбуд України.
7. Україна. Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житловокомунального господарства. (2007). *ДСТУ Б В.1.1-18:2007: Споруди та фрагменти будівель. Метод натурних вогневих випробувань. Загальні вимоги*. [Чинний від 01.04.2008.]. К. : Мінрегіонбуд України. (Національний стандарт України).
8. Була С. С., Бойко Р. О. (2013). *Історія та перспективи розвитку повномасштабних натурних вогневих випробувань*. Вісник Національного університету Львівська політехніка. Теорія і практика будівництва, (755), 21-30.

9. Lawson, J. R. (2009). *A History of Fire Testing*. Gaithersburg: U.S. Department of Commerce.
10. Демчина Б. Г. (2002). *Вогнестійкість одно- і багатошарових просторових конструкцій житлових та громадських будівель: дис. доктора техн. наук: 05.23.01*. К.: [КиївЗНДІЕП]. (367 с.).
11. Шналь, Т. М., Коваль, М. С., Демчина, Б. Г., Коваль, П. М., & Кархут, І. І. (2008). Повномасштабні пожежні випробування фрагмента великопанельної будівлі. *Вісник Національного університету "Львів. політехніка". Теорія і практика будівництва*, (627), 208–212.
12. Шналь, Т. М. (2010). *Вогнестійкість та вогнезахист металевих конструкцій*. Львів: Видавництво Львівської політехніки.
13. Сідней, С. О. (2016). *Підвищення достовірності результатів вогневих випробувань при оцінюванні межі вогнестійкості несучих стін* (Дисертаційне дослідження).
14. Поздєєв, С. В., Отрош, Ю. А., Омельченко, А. М., & Щіпець, С. Д. (2014). Методика оцінки межі вогнестійкості залізобетонних балок шляхом інтерпретації результатів їх вогневих випробувань. *Збірник наукових праць Донбаського державного технічного університету*, (1), 119–127.
15. Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житловокомунального господарства України. (2010). *ДСТУ-Н П Б В.2.6-XX: 20XX Настанова проектування залізобетонних конструкцій Основні положення "Вогнестійкість" (EN 1992-1-2:2004, MOD)*. К., Мінрегіонбуд України, 120 с.
16. *ДСТУ-Н EN 1991-1-2:2010 - Єврокод 1. Дії на конструкції. Ч. 1–2. Загальні дії. Дії на конструкції під час пожежі*. – К.: Міністерство регіонального розвитку, будівництва та житловокомунального господарства України, 2011. – 80 с.
17. Perehin A., Nuianzin O., Shnal T., Shchipets S., Myroshnyk O. *Improvement of means for assessing fire resistance of fragments of reinforced*

concrete structures. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2684, No. 1). AIP Publishing, 2023.

18. Була С. С.; Бойко Р. О.; Горбачевський Р. Р. *Аналіз методів розрахунку вогнестійкості залізобетонних конструкцій*. Збірник наукових праць [Полтавського національного технічного університету ім. Ю. Кондратюка]. Сер.: Галузеве машинобудування, будівництво, 2012, 5: 54-59.

19. *ДСТУ-Н Б EN 1992-1-2:2012 Єврокод 2: Проектування залізобетонних конструкцій. Частина 1-2. Загальні положення. Розрахунок конструкцій на вогнестійкість*.

20. Глушаниця А. І. *Напружено-деформований стан зігнутих елементів у сталезалізобетонних конструкціях з'єднаних за допомогою склеювання*. 2016.

21. *Будівельні матеріали і конструкції підземних споруд. Основи розрахунку* [Електронний ресурс]: навч. посіб. для студ. спеціальності 184 «Гірництво» / КПІ ім. Ігоря Сікорського; уклад.: С. М. Стовпник, А. Л. Ган, Л. В. Шайдецька. – Електронні текстові дані (1 файл: 10,7 Мбайт). – Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 120 с.

22. Григор'ян Б. Б. *Вогнестійкість стиснутих залізобетонних елементів при температурних режимах пожежі, близьких до реальних*. 2001.

23. Поздєєв С. В. *Дослідження поведінки залізобетонної стіни в умовах пожежі за допомогою методу кінцевих елементів. Пожежна безпека: теорія і практика*, 2014, 17: 85-92.

24. Ларбі, Ель Мутассім, et al. *Вогнестійкість монолітних залізобетонних конструкцій будівель*. 2001.

25. Ruvalcaba Ayala F.R. *Mechanical properties and structural behaviour of masonry at elevated temperatures*. A thesis submitted to The University of Manchester for the degree of Doctor of Philosophy. – 2010. – 294 p.

26. Пазен О. Ю. (2015). *Математичне моделювання процесів теплопереносу в багатопшарових плоских конструкціях за умов пожежі*.

27. Lie T.T. (1974). *Characteristic temperature curves for various fire severities*. "Fire Technology," 10(4), 315–326.
28. Lie T.T. (1983). *A Procedure to Calculate Fire Resistance of Structural Members*. In *International Seminar on Three Decades of Structural Fire Safety*, 22/23, February (pp. 139-153).
29. Shah, T. M., Sadaf Siddiq, Z. U. Koreshi (2017). *An analysis and comparison of tube natural frequency modes with fluctuating force frequency from the thermal cross-flow fluid in 300 MWe PWR*. *International Journal of Engineering and Technology*, 9(9), 201–205.
30. Поздєєв С.В., Тищенко О.М. (2010). *Дослідження ефективності математичних моделей теплопередачі для розв'язку теплотехнічної задачі при визначенні вогнестійкості залізобетонних конструкцій*. В Черкаси: *Збірник наукових праць. Пожежна безпека: теорія і практика*. Академія пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля, Випуск № 5, 122-129.
31. Поздєєв, С.В. (2010). *Дослідження ефективності математичних моделей напружено-деформованого стану при визначенні вогнестійкості залізобетонних плит*. В Черкаси: *Збірник наукових праць. Пожежна безпека: теорія і практика*. Академія пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля, Випуск № 6, 125-133.
32. Поздєєв, С.В. (2010). *Дослідження ефективності вогнезахисної обробки залізобетонних балок покриттями, що спучуються*. В *Вісник житомирського державного технологічного університету*. Житомир: ЖДТУ, 3(54), 12–16.
33. Поздєєв, С.В. (2010). *Дослідження ефективності математичних моделей напружено-деформованого стану при визначенні вогнестійкості залізобетонних балок*. В *Пожежна безпека: [зб. наук. праць]*. Л.: ЛДУБЖД, 17, 115–122.
34. Поздєєв, С.В. (2010). *Дослідження адекватності результатів математичного моделювання тепломасообміну у вогневій печі при випробуваннях залізобетонної плити на вогнестійкість*. В Черкаси: *Збірник*

наукових праць. *Пожежна безпека: теорія і практика*. Академія пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля, Випуск № 6/1, 60–65.

35. Поздєєв, С.В., Левченко, А.Д. (2011). *Розробка уточненого розрахункового методу для визначення межі вогнестійкості несучих залізобетонних конструкцій*. В *Науковий вісник національного технічного університету «Львівська політехніка»*. Львів: НТУ «Львівська політехніка», 264–269.

36. Поздєєв, С. В., Словінський, В. К., & Щіпець, С. Д. (2013). *Експериментально-розрахунковий метод оцінки вогнестійкості залізобетонних колон на основі їх вогневих випробувань*. В *Пожежна безпека: теорія і практика*, 14, 88–93.

37. Щіпець, С. Д. (2014). *Метод визначення температурних полів у перерізах несучих стін за результатами їх випробувань на вогнестійкість*. В *Науковий вісник УкрНДІПБ*, 1, 79–84.

38. Отрош, Ю. А., Поздєєв, С. В., Демешок, В. В., & Кропива, М. О. (2015). *Оцінка вогнестійкості ненесучих стін за розрахунковими методами Єврокоду*.

39. Нуянзін, О. М., Заїка, П. І., Черниш, Р. А., & Ведула, С. А. (2022). *Розрахункова оцінка межі вогнестійкості залізобетонної балки за результатами вогневих випробувань без механічного навантаження*. В *Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація*, 6(2), 82–94.

40. Нуянзін, О. М., & Діденко, В. В. (2019). *Уточнений метод розрахункової оцінки межі вогнестійкості залізобетонної плити*. В *Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій: матеріали IX Міжнародної науково-практичної конференції*, 131–134. Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України.

41. Krukovsky, P. G., & Tadlya, O. Yu. (2007). *Identifiability of the parameters of the thermal regime model of a typical two-room apartment structure*. *Industrial Heat Engin*, (5), 54–63.

42. Kachkar, E. V. (2010). *Identifiability of the parameters of the thermal state model of sandwich panels with mineral wool boards*. Problems of Fire Safety, (27), 70–76.
43. Поздєєв, С. В., Тищенко, О. М., Нуянзін, О. М., & ін. (2011). *Метрологічні особливості вогневих випробувань залізобетонних будівельних конструкцій на вогнестійкість*. В *Пожежна безпека: теорія і практика* : зб. наук. праць, 8, 73–79. Черкаси: АПБ.
44. *Пожежна безпека. Терміни та визначення основних понять*. ДСТУ 2272:2006. [Чинний від 2006-10-01]. К. : Держспоживстандарт України 2006. 30 с. (Національний стандарт України).
45. Wilcox, D. C., et al. (1998). *Turbulence modeling for CFD*. La Canada, CA: DCW Industries.
46. Baum, H. R., & McGrattan, K. B. (2000). *Simulation of Large Industrial Outdoor Fires*. In *Fire Safety Science– Proceedings of the Sixth International Symposium*. International Association for Fire Safety Science.
47. Mdx.plm.automation.siemens.com [Електронний ресурс]: [Інтернет-портал]. (<https://mdx.plm.automation.siemens.com>) [5800 Granite Parkway, Suite 600, Plano, TX 75024 USA].
48. Сохацький, А. В. (1996). *Порівняння нових та відомих методик розв'язку рівнянь Нав'є – Стокса в змінних вихор-функція течії в криволінійній неортогональній системі координат*. В *Придніпровський науковий вісник*, 4, 20.
49. Сохацький, А. В. (1996). *Неявна факторизована схема апроксимації рівнянь Нав'є – Стокса в змінних вихор-функція течії*. В *Прикладні проблеми механіки рідини та газу*, 51.
50. Бударин, В. А. (2008). *Аналіз прихованих властивостей системи Нав'є – Стокса*. В *Тез. доп. 6 Мінськ. міжнар. форум, ІТМО, Т. 1*, 75–77.
51. Нуянзін, О. М. (2014). *Підвищення ефективності випробувань на вогнестійкість горизонтальних елементів залізобетонних будівельних конструкцій*.

52. Будівельні матеріали. матеріали будівельні. Методи випробувань на горючість. ДСТУ Б В.2.7-19-95 (ГОСТ 30244-94). (1995). [Чинний від 1996-09-01]. – К. : Державний комітет України у справах містобудування і архітектури, 32 с. – (Національний стандарт України).
53. Harmathy, T. Z. (1976). *Fire resistance versus flame spread resistance*. – *Fire Technol.*, 12(4), 290–302.
54. Anderson, J. D. (1995). *Computational Fluid Dynamics: The Basics With Applications*. Science/Engineering/Math. McGraw-Hill Science.
55. Patankar, S. (1980). *Numerical Heat Transfer and Fluid Flow*. Hemisphere Series on Computational Methods in Mechanics and Thermal Science. Taylor & Francis. ISBN 0-89116-522-3.
56. Ansys Release 10, inc. (Theory Reference).
57. Nuianzin, O., Tyshchenko, O., Zhartovskyi, S., Zaika, P., Peregin, A. (2019). *The research of carrying capacity of reinforced concrete walls under uneven warming*. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 708(1), 012063.
58. Milarcik, E. L. (2007). *An Analysis of the Performance of Residential Smoke Detection Technologies Utilizing the Concept of Relative Time*. In The National Fire Protection Research Foundation Suppression and Detection Research and Applications Symposium (SUPDET), March, 2007. (2007 Carey award).
59. Olenick, S. M. (2003). *An Updated International Survey of Computer Models for Fire and Smoke*. Journal of Fire Protection Engineering, 13, 87–110.
60. Голубєв, С. О., Лебідь, О. Г., & Черній, Д. І. (2019). *Засоби комп'ютерного моделювання в галузі обчислювальної гідродинаміки*. Математичне моделювання в економіці, (2), 21-38.
61. McGrattan, K., Hostikka, S., McDermott, R., Floyd, J., Weinschenk, C., & Overholt, K. (2013). *Fire dynamics simulator user's guide*. NIST special publication, 1019(6), 1-339.
62. Перегін, А. В., Нуянзін, О. М., Сідней, С. О., Ребедь, В. І. (2019). *Основні параметри побудови комп'ютерної моделі кабельного тунелю в*

середовищі FDS. IX Всеукраїнська науково-практична конференція з міжнародною участю «Надзвичайні ситуації: безпека та захист». Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 282 с.

63. Поздєєв, С. В., Нуянзін, О. М. (2011). *Математичні моделі теплообміну для удосконалення метрологічних особливостей вогневих випробувань залізобетонних будівельних конструкцій на вогнестійкість. Пожежна безпека–2011: Матеріали X Міжнародної науково-практичної конференції, 17-18 листопада 2011р.–Харків: НУЦЗ України, 372 с.*

64. Перегін, А. В., Нуянзін, О. М., Кришталь, М. А., & Заїка, П. І. (2020). *Комп'ютерне моделювання процесу тепломасообміну у камерах вогневих печей установок для випробувань на вогнестійкість будівельних конструкцій. Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація, 4(1), 71-79.*

65. Ніжник, В. В. (2020). *Розвиток наукових основ оцінювання небезпеки поширення пожежі на суміжні будівельні об'єкти.*

66. *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, 18, 91 – 100.*

67. Нуянзін, О. М., Поздєєв, С.В., Нуянзін, В. М., Сідней, С. О. (2015). *Математичне моделювання процесу тепломасообміну у камерах вогневих печей установок для випробувань на вогнестійкість несучих стін. Пожежна безпека: теорія і практика, 20.*

68. Шналь, Т. М., Поздєєв, С. В., Яковчук, Р. С., Некора, О. В., Сідней, С. О. (2020). *Математичне моделювання розвитку пожежі у триповерховій житловій будівлі при проведенні у ній повномасштабних вогневих випробувань. Пожежна безпека.*

69. Сідней, С. О., Нуянзін, О. М., Поздєєв, С.В. (2015). *Вплив конструктивних особливостей вогневих печей на достовірність результатів випробувань стін на вогнестійкість. Науковий вісник Українського науково-дослідного інституту пожежної безпеки, 1 (31), 4–12.*

70. Перегін, А. (2022). *Дослідження впливу конфігурації та параметрів вогневих печей на умови нагрівання несучих стін за стандартним температурним режимом пожежі. Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація*, 6(1).

71. Перегін, А. В., Нуянзін, О. М. (2021). *Моделювання комп'ютерної моделі вогневої печі за допомогою системи автоматизованого проектування. Збірник XII Міжнародної науково-практичної конференції «Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій»*, 162.

72. Сідней, С. О. (2015). *Чисельне дослідження ефективності випробувань на вогнестійкість несучих стін у вогневих печах різної конфігурації. Пожежна безпека: теорія і практика*, (19), 106-111.

73. Нуянзін, О. М., Кришталь, М. А., Кришталь, Д. О., & Рога, М. П. (2017). *Дослідження рівномірності прогріву несучої стіни в залежності від конструкції та дизайну вогневої печі. Вісті Донецького гірничого інституту*, (1), 66-72.

74. ДСТУ EN 1363-1:20__ (EN 1363-1:2020, IDT) «Випробування на вогнестійкість. Частина 1. Загальні вимоги».

75. Конспект лекцій з дисципліни “Тічне обладнання у хімічних процесах” для студентів напряму 6.050503 Машинобудування: [Електронний ресурс]: /НТУУ „КПІ”; уклад, А.Р. Степанюк. – Київ: НТУУ „КПІ”, 2016. – 132 с.

76. Belsky, V.I., Sergeev, B.V. (1974). *Industrial furnaces and pipes. Textbook allowance for technical schools. Ed. 2nd, corrected and added. M., Stroyizdat*, 301 p.

77. Skoblo, A. I., Molokanov, Yu. K., Vladimirov, A. I., Shchelkunov, V. A. (2000). *Processes and apparatus of oil and gas processing and petrochemistry: Textbook for universities (3rd ed.)*. Nedra-Business Center LLC.

78. Кравченко, В.І., Клименко, В.В. (2017). *Методичні вказівки до виконання практичних занять з курсу „Енергетичні установки”*. Для

студентів спеціальності 141 освітньо-професійної програми „Енергетичний менеджмент”. ЦНТУ.

79. Міністерство соціальної політики України. (2018). *Про затвердження Правил охорони праці під час експлуатації обладнання, що працює під тиском* (Наказ № 533 від 05.03.2018).

80. ДСТУ ISO/IEC 17025: 2006. *Загальні вимоги до компетентності випробувальних та калібрувальних лабораторій*.

81. Згуря, В. І. (2009). *Оцінювання якості проведення випробувань щодо визначення межі вогнестійкості будівельних конструкцій*. Збірник наукових праць «Пожежна безпека: теорія і практика», 14, 32–39.

82. Веселівський, Р. Б., Половко, А. П., Василенко, О. О. (2013). *Експериментальне дослідження вогнестійкості огорожувальних конструкцій з фібролітовими плитами*. Пожежна безпека, 23, 33-38.

83. Немчинов, Ю. І., et al. (2014). *Дослідження вогнестійкості будівельних конструкцій*. Наука та будівництво, 2, 11-16.

84. Bartelemy, B., Kryuppa, Zh. (1985). *Ognestoykost stroitelnykh konstruktsiy*. Stroyizdat.

85. Milovanov, A. F. (1998). *Stoykost zhelezobetonnykh konstruktsiy pri pozhare*. Stroyizdat.

86. Romanenkov, I. G., Zigern-Korn, V. N. (1984). *Ognestoykost stroitelnykh konstruktsiy iz effektivnykh materialov*. Stroyizdat.

87. Демчина, Б. Г., Фіщик, В. С., Половко, А. П., Пелех, А. Б. (2006). *Піч для теплофізичних випробувань малогабаритних фрагментів будівельних конструкцій та окремих вузлів їх стикових з'єднань*. Пат. 17160 Україна, МПК(2006) F23M5/00. заявл. 20.03.2006, опубл. 15.09.2006. Бюл. № 9.

88. Згуря, В. І. (2007). *Удосконалення системи визначення пожежонебезпечних властивостей речовин, матеріалів та будівельних конструкцій*: Автореф. дисерт. канд. техн. наук. Київ: УкрНДІПБ МНС України.

89. Perehin, A., Nuianzin, O., Borysova, A., Nuianzin, V. (2022). *Results of Experimental Investigations of Reinforced Concrete Wall Elements According to the Standard Temperature Mode of Fire*. Materials Science Forum, 1066, 206-215.
90. Perehin, A., Nuianzin, O. (2021). *Етапи створення прототипу вогневої установки для визначення температурних розподілів малогабаритних фрагментів залізобетонних конструкцій. Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація*, 5(2), 75-82.
91. Perehin, A., Nuianzin, O., Zaika, N., Vedula, S. (2021). *Technique for creating the prototype of a compact fire plant for tests to determine the fire resistance of reinforced concrete structures*. The Scientific Heritage, 78(1), 37-43.
92. Капцов, І. І., Ромашко, О. В., Гапонова, Л. В. (2009). *Методичні вказівки до науково-дослідницької практики з дисципліни «Організація наукових досліджень» (Статистичні методи. Аналіз та оформлення наукових досліджень)*. Харків: ХНАМГ.
93. Перегуда, О. В., Капустян, О. А., Курилко, О. Б. (2022). *Статистична обробка даних: навч. посіб.* Електронне видання.
94. Поздєєв, С. В., Отрош, Ю. А., Федченко, І. Г., Нешпор, О. В. (2014). *Методика оцінювання адекватності результатів визначення меж вогнестійкості залізобетонних балок експериментально-розрахунковим методом*. ACADEMIC JOURNAL Industrial Machine Building, Civil Engineering, 1.40, 129-136.
95. Махней, О. В., Гой, Т. П. (2013). *Математичне забезпечення автоматизації прикладних досліджень: Навчальний посібник*. Івано-Франківськ: Сімік.
96. Lykov, A. V. (1967). *Theory of thermal conductivity*. M: Higher school.
97. STO 36554501-006-2006. (2006). *Organization standard. Rules for ensuring fire resistance and fire safety of reinforced concrete structures*. M.: FSUE "NIC "Construction".

98. Strakhov, V. L. (2000). *Optimal design of fire-resistant building structures*. In N.N. Brushlinsky and A.Ya. Korolchenko (Eds.), *Simulation of fires and explosions* (pp. 365-442). M.: Pozhnauka.
99. Roitman, V. M. (2001). *Engineering solutions for assessing the fire resistance of designed and reconstructed buildings*. M.: Association "Fire Safety and Science". - 382 p.
100. Barthelemy, B., Kryuppa, Zh. (1985). *Fire resistance of building structures*. M.: Stroyizdat. - 216 p.
101. Sundstrom, B. (2005). *Test Methods and Their use for Fire Safety Engineering*. In *Materiały V Międzynarodowy Konferencji "Bezpieczeństwo pożarowe budowli."* C. 141–150.
102. Krukovsky, P. G. (1998). *Inverse Problems of Heat and Mass Transfer (General Engineering Approach)*. К .: NASU Institute of Technical Thermal Physics. - 224 p.
103. Поздєєв, С. В. (2014). *Розрахунковий метод оцінки вогнестійкості кам'яних несучих стін*. Науковий вісник УкрНДІПБ, 1, 72-78.
104. Нуянзін, О. М., Гаркавий, С. Ф., Самченко, Т. В., & Кришталь, Д. О. (2018). *Дослідження нерівномірності прогріву залізобетонної стіни при випробуваннях на вогнестійкість*. Міжнародний науковий журнал Інтернаука, (13), 59-65.
105. Щіпець, С. Д. (2015). *Удосконалення методу випробувань на вогнестійкість залізобетонних та кам'яних несучих стін*.
106. *Chemical hydrodynamics: a reference guide* / A. M. Kutepov, A. D. Polyenin, Z. D. Zapryanov et al. M. : Kvantum, 1996. - 336 p.
107. Samarsky, A. A. (1971). *Introduction to the theory of difference schemes*. M.: Nauka. – 554 p.
108. Samarsky, A. A., Vabishchevich, P. N. (2003). *Computational heat transfer*. M.: Editorial URSS. - 784 p.

109. Vlasova, E. A. (2001). *Approximate methods of mathematical physics: [training for universities / ed. V.S. Zarubina, A.P. Krishchenko]*. М .: MSTU im. Bauman. - 700 p.
110. Perehin, A., Nuianzin, O., Kryshthal, D., Kryshthal, M. (2022). *Аналіз результатів прогрівання малогабаритного фрагмента залізобетонної стіни під час експериментальних досліджень*. Civil security: Public administration and crisis management, Київ, 1, 19-36.
111. Перегін, А. В. (2023). *Удосконалення методики розрахункової оцінки межі вогнестійкості несучої залізобетонної стіни на основі результатів вогневих експериментів*. Збірник наукових праць Черкаського інституту пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України «Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація». Том 7 № 1, 89-97.

ДОДАТОК А

Список публікацій здобувача за темою дисертації та відомості про апробацію
результатів дисертації

Опубліковані основні наукові результати дисертації:

1. Nuianzin O., Tyshchenko O., Zhartovskyi S., Zaika P., **Peregin A.** The research of carrying capacity of reinforced concrete walls under uneven warming. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. – IOP Publishing, 2019. Т. 708. №. 1. С. 012063. Режим доступу: <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/708/1/012063/pdf>.
2. **Перегін А. В.**, Нуянзін О. М., Кришталь М. А., Заїка П. І. Комп'ютерне моделювання процесу тепломасообміну у камерах вогневих печей установок для випробувань на вогнестійкість будівельних конструкцій. *Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація*. Черкаси, 2020. № 4(1). С. 71-79. DOI: <https://doi.org/10.31731/2524-2636.2020.4.1.-71-79>.
3. **Перегін А. В.**, Нуянзін О.М. Етапи створення прототипу вогневої установки для визначення температурних розподілів малогабаритних фрагментів залізобетонних конструкцій. *Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація*. Черкаси, 2021. № 5(2). С. 75-82. DOI: <https://doi.org/10.31731/2524.2636.2021.5.2-75-82>.
4. **Perehin A.**, Nuianzin O., Zaika N., Vedula S. (2021). Technique for creating the prototype of a compact fire plant for tests to determine the fire resistance of reinforced concrete structures. *The Scientific Heritage. Hungary*, 2021. № 78 (1). С. 37-43. DOI: 10.24412/9215-0365-2021-78-1-37-43.
5. **Perehin A.**, Nuianzin O., Kryshthal D., Kryshthal M. Аналіз результатів прогрівання малогабаритного фрагмента залізобетонної стіни під час експериментальних досліджень. *Civil security: Public administration and crisis management*, Київ, 2022. № 1. С. 19-36.
6. **Перегін А. В.** Дослідження впливу конфігурації та параметрів вогневих печей на умови нагрівання несучих стін за стандартним температурним режимом пожежі. *Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація*. Черкаси, 2022. № 6 (1). С. 85-94. DOI: <https://doi.org/10.31731/2524.2636.2022.6.1.85-94>.

7. **Perehin A.**, Nuianzin O., Borysova A., Nuianzin V. Results of Experimental Investigations of Reinforced Concrete Wall Elements According to the Standard Temperature Mode of Fire. *Materials Science Forum: Trans Tech Publications Ltd*, 2022. Vol. 1066. pp. 206-215. Режим доступу: <https://www.scientific.net/MSF.1066.206>.

8. **Перегін А. В.**, Нуянзін О. М., Гвоздь В. М., Тищенко О. М., Некора О. В., Землянський О. М. Компактна вогнева установка для проведення випробувань на визначення вогнестійкості відносно рівномірності прогріву малогабаритних будівельних конструкцій. *Патент України на корисну модель № 151322*, опубліковано 06.07.2022 року, бюлетень № 27.

9. **Перегін А. В.** Удосконалення методики розрахункової оцінки межі вогнестійкості несучої залізобетонної стіни на основі результатів вогневих експериментів. *Надзвичайні ситуації: попередження та ліквідація*. Черкаси, 2023, № 7 (1). С. 89-97. DOI: <https://doi.org/10.31731/2524.2636.2023.7.1.89.98>.

10. **Perehin A.**, Nuianzin O., Shnal T., Shchipets S., Myroshnyk O. Improvement of means for assessing fire resistance of fragments of reinforced concrete structures. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 2684, No. 1). AIP Publishing, 2023. Режим доступу: <https://pubs.aip.org/aip/acp/article-abstract/2684/1/030032/2893614/Improvement-of-means-for-assessing-fire-resistance?redirectedFrom=fulltext>.

11. **Перегін А. В.**, Нуянзін О. М., Гвоздь В. М., Тищенко О. М., Некора О. В., Кришталь М. А. Спосіб інтерполяції температурних розподілень у несучих залізобетонних конструкціях на основі вимірювань температури у контрольних точках. *Патент України на корисну модель № 152662*, опубліковано 29.03.2023 року, бюлетень № 13.

Апробація матеріалів дисертації:

1. Нуянзін О. М., Тищенко О. М., Жартовський С. В., Зайка П. І., **Перегін А. В.** Дослідження несучої здатності залізобетонних стін при

нерівномірному прогріві. *Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті: матеріали 8-ої Міжнародної наук.-техн.конф.*, Харків, 2019. С. 92-93.

2. **Перегін А. В.**, Нуянзін О. М. Аналіз результатів моделювання тепломасообміну у камерах вогневих печей. *Надзвичайні ситуації: безпека та захист: матеріали X Всеукр. наук.- практ. конф.*, Черкаси, 2020. С. 198–199.

3. Приступа Я., **Перегін А.** Аналіз стану нормативної бази із визначення вогнестійкості вертикальних несучих будівельних конструкцій. *Наука про цивільний захист як шлях становлення молодих вчених: Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції курсантів і студентів*, Черкаси, 2020. С.43-45.

4. **Перегін А.**, Нуянзін О., Самченко Т., Розробка комп'ютерної моделі вогневої печі у програмному комплексі FDS. *Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій: Матеріали XI Міжнародної науково-практичної конференції*, Черкаси, 2020. С. 189-191.

5. **Перегін А.**, Нуянзін О. Моделювання комп'ютерної моделі вогневої печі за допомогою системи автоматизованого проектування. *Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій: Матеріали XII Міжнародної науково-практичної конференції* – Черкаси, 2021. С. 211–212.

6. Нуянзін О. М., **Перегін А. В.**, Шналь Т. М., Щіпець С. Д., Мирошник О. М. Експериментальне дослідження розподілів та міцнісних характеристик малогабаритного фрагменту. *Збірник тез доповідей 9-ої Міжнародної науково-технічної конференції: Проблеми надійності та довговічності інженерних споруд і будівель на залізничному транспорті.* – Харків, 2021. С. 89-90.

7. **Перегін А.**, Кришталь Д., Нуянзін О. Аналіз температурних розподілів у камері вогневої печі при випробуванні залізобетонної плити на вогнестійкість. *Надзвичайні ситуації: безпека та захист: Матеріали XI*

Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю. Черкаси, 2021. С. 177–178.

8. Діденко Т., **Перегін А.**, Нуянзін О. Малогабаритна вогнева установка для дослідження теплового впливу пожежі на будівельні конструкції. *Надзвичайні ситуації: безпека та захист: Матеріали XII Всеукраїнської науково-практичної конференції з міжнародною участю.* Черкаси, 2022. С. 91-92.

9. **Перегін А.**, Нуянзін О., Діденко Т. Верифікація даних отриманих під час експериментів з нагрівання малогабаритних елементів залізобетонних стін. *Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій: Матеріали XIII Міжнародної науково-практичної конференції*, Черкаси, 2022. С. 169-170.

10. Нуянзін О., **Перегін А.**, Борисова А., Нуянзін В. Результати експериментальних досліджень елементів залізобетонної стіни за стандартним температурним режимом пожежі. *Problems of Emergency Situations: Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції.* Харків, 2022. С. 40-41.

11. Радова І.С., **Перегін А.** Метод проведення випробувань на визначення вогнестійкості фрагментів будівельних конструкцій. *«Проблеми та перспективи забезпечення цивільного захисту»: Матеріали міжнародної науково-практичної конференції молодих учених*, Харків, 2022. С. 79.

12. **Перегін А.**, Діденко Т. Засоби комп'ютерного моделювання процесу горіння у прототипі компактної вогневої установки. *Наука про цивільний захист як шлях становлення молодих вчених: Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції курсантів і студентів*, Черкаси, 2022. С.125-126.

13. I. Radova, **A. Perehin** The method of determining fire resistance limits by the improved method of testing beams. *Проблеми та перспективи розвитку системи безпеки життєдіяльності: Збірник наукових праць*

XVIII Міжнародної науково-практичної конференції молодих вчених, курсантів та студентів, Львів, 2023. С. 236-238.

14. **Перегін А.**, Діденко Т., Ведула С. Методика відновлення температурних полів за результатами вогневих випробувань залізобетонної стіни. *Теорія і практика гасіння пожеж та ліквідації надзвичайних ситуацій: Матеріали XIV Міжнародної науково-практичної конференції, Черкаси, 2023. С. 192-194.*

15. **Перегін А.** Алгоритм відновлення температурних полів на основі отриманих даних експериментального дослідження. *«Наукові досягнення та відкриття сучасної молоді»: Матеріали II Всеукраїнська наукова конференція студентів та молодих вчених, Луцьк, 2023. С. 195-197.*

16. **Перегін А.**, Голик Д. Дослідження тепломасообміну в камерах вогневих печей з різними геометричними параметрами. *Наука про цивільний захист як шлях становлення молодих вчених: Матеріали Всеукраїнської науково-практичної конференції курсантів і студентів, Черкаси, 2023. С.128-130.*

ДОДАТОК Б

Акти впровадження результатів дисертації

ЗАТВЕРДЖУЮ
 Керівник Випробувального
 Центру ТОВ «ТЕСТ»
 М. Бондар
 2023 року

АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи

Перегін Аліни Вадимівни за темою:

«Удосконалення експериментально-розрахункового методу оцінювання
 межі вогнестійкості несучих залізобетонних стін»

Даний акт складено про те, що результати дисертаційної роботи
 Перегін Аліни Вадимівни було застосовано у роботі Випробувального центру
 ТОВ «ТЕСТ» під час випробувань на вогнестійкість залізобетонних стін.

Впровадження результатів дисертаційної роботи Перегін А. В.
 дозволяє підвищити ефективність процесу оцінювання вогнестійкості
 несучих залізобетонних стін за рахунок врахування особливостей
 застосованих матеріалів досліджуваного фрагменту під час виконання
 експериментів та механічного навантаження у процесі розрахунку та
 використання розробленої методики оцінювання вогнестійкості несучих
 залізобетонних стін за допомогою удосконаленого експериментально-
 розрахункового методу.

Акт не призначено для використання під час фінансових операцій.

Завідувач лабораторії випробувань
 речовин та матеріалів ВЦ ТОВ «ТЕСТ»
 канд. тех. наук, ст. наук. співробітник

 А. В. Довбиш

«14» 06 2023 р.

ЗАТВЕРДЖУЮ

Заступник начальника Інституту
з навчальної роботи
Інституту державного управління та
наукових досліджень
з цивільного захисту
д-р філософії, професор



Сергій СРЕМЕНКО

« 20__ року

АКТ

впровадження результатів дисертаційної роботи

ПЕРЕГІН Аліни Вадимівни на тему:

«Удосконалення експериментально-розрахункового методу оцінювання межі вогнестійкості несучих залізобетонних стін»

Комісія у складі: голови комісії – начальника науково-випробувального центру ІДУ НД ЦЗ канд. техн. наук, ст. досл. ДОБРОСТАНА Олександра Васильовича, членів комісії: провідного наукового співробітника науково-випробувального центру ІДУ НД ЦЗ канд. техн. наук КОДРИКА Анатолія Івановича, старшого наукового співробітника науково-випробувального центру ІДУ НД ЦЗ д-р філософії САМЧЕНКА Тараса Васильовича склали цей акт про те, що результати дисертаційної роботи ПЕРЕГІН Аліни Вадимівни на тему: «Удосконалення експериментально-розрахункового методу оцінювання межі вогнестійкості несучих залізобетонних стін» впроваджено у випробувальну діяльність науково-випробувального центру Інституту державного управління та наукових досліджень з цивільного захисту, шляхом застосування результатів проведених досліджень, які мають практичну цінність у розрізі розроблених удосконалень експериментально-розрахункового методу оцінювання межі вогнестійкості несучих залізобетонних стін. Дані вдосконалення дозволяють доповнити нормативно правову базу з урахуванням запропонованих нововведень, які значно підвищують межу вогнестійкості несучих залізобетонних стін за рахунок проведення експериментальних випробувань з нагрівання несучих залізобетонних стін у малогабаритній вогневій установці без дії механічного навантаження та врахуванні його при проведенні розрахунку на міцність, що відповідно зменшить вартість проведення випробувань і обсяг робіт.

Акт складено для надання в разову спеціалізовану вчену раду у зв'язку із захистом дисертації на здобуття наукового ступеня доктора філософії.

Голова комісії
канд. техн. наук, ст. досл.

Члени комісії
канд. техн. наук

д-р філософії

Олександр ДОБРОСТАН

Анатолій КОДРИК

Тарас САМЧЕНКО

ЗАТВЕРДЖУЮ

Начальник Черкаського інституту
пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля
Національного університету
цивільного захисту України
генерал-майор служби цивільного захисту



Віктор ГВОЗДЬ

2023 року

АКТ

про впровадження результатів дисертаційної роботи
«Удосконалення експериментально-розрахункового методу оцінювання межі
вогнестійкості несучих залізобетонних стін»

Начальник навчально-методичного відділу канд. техн. наук, доцент Джулай Олександр Миколайович, начальник кафедри безпеки об'єктів будівництва та охорони праці канд. техн. наук, доцент Березовський Андрій Іванович та старший викладач кафедри безпеки об'єктів будівництва та охорони праці Руденко Ірина Вікторівна склали акт про те, що результати дисертаційної роботи за темою: «Удосконалення експериментально-розрахункового методу оцінювання межі вогнестійкості несучих залізобетонних стін» мають теоретичне та практичне значення для освітнього процесу.

У дисертаційній роботі визначено шляхи та запропоновано удосконалення експериментально-розрахункового методу оцінювання вогнестійкості повномасштабних конструкцій несучих стін на основі випробування їхніх фрагментів за стандартним температурним режимом пожежі без прикладення навантаження, що дало змогу визначити розміри зразків та способи установаження їх у камеру печі, в залежності від габаритів установки.

З метою підвищення ефективності підготовки фахівців для ДСНС України результати дисертаційної роботи впроваджено в освітній процес при підготовці фахівців освітнього рівня «бакалавр» на кафедрі безпеки об'єктів будівництва та охорони праці за спеціальністю 261 «Пожежна безпека» під час вивчення дисципліни «Стійкість будівель та споруд при пожежі», в розрізі теми: «Вогнестійкість залізобетонних конструкцій». Також при підготовці фахівців освітнього рівня «бакалавр» за спеціальністю 263 «Цивільна безпека» під час вивчення дисципліни «Стійкість будівель та споруд в умовах

надзвичайних ситуацій» за темою: «Вогнестійкість залізобетонних конструкцій» (протокол кафедри БОБ та ОП № 32 від 29.08.2023).

Впровадження результатів забезпечує актуальний характер освіти та високий науково-методичний рівень викладання даних дисциплін і дозволяє підвищити якість проведення лекційних і практичних занять для здобувачів вищої освіти.

Начальник
навчально-методичного відділу
канд. техн. наук, доцент



Олександр ДЖУЛАЙ

Начальник кафедри безпеки
об'єктів будівництва та охорони праці
канд. техн. наук, доцент



Андрій БЕРЕЗОВСЬКИЙ

Старший викладач кафедри безпеки
об'єктів будівництва та охорони праці



Ірина РУДЕШКО