

УДК 624.012

О.М. Нуязін, Академія пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля

ЧИСЕЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИПРОБУВАНЬ НА ВОГНЕСТІЙКІСТЬ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ У ВОГНЕВИХ ПЕЧАХ РІЗНОЇ КОНФІГУРАЦІЇ

У даній роботі представлено результати чисельного моделювання процесу випробування на вогнестійкість горизонтальних залізобетонних будівельних конструкцій у різних конфігураціях вогневих печей. Виходячи з отриманих результатів побудовано залежності значень дисперсії температури на поверхні кожної зі змодельованих конструкцій камери печі протягом обчислювального експерименту та різниці між максимальною та мінімальною температурами на поверхні залізобетонної конструкції. Визначено конфігурацію з найбільш рівномірним розподілом температур на обігрівальній поверхні горизонтальної конструкції.

Ключові слова: чисельне моделювання, обчислювальна газодинаміка (CFD), дисперсія температури.

Постановка проблеми. Оскільки випробування у вогневих печах [1, 2] здійснюється в умовах «стандартного» температурного режиму, виникає питання про рівномірність прогріву залізобетонної конструкції в залежності від конструкції та дизайну вогневої печі, так як внутрішня будова камери, розміщення пальників та отворів для відведення продуктів горіння впливає на рівномірність розподілу температури по обігрівальній поверхні горизонтальних конструкцій.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Дослідженнями вогнестійкості залізобетонних конструкцій займалися і займаються багато науковців, зокрема Яковлев О.І., Ройтман В.М., Бушев В.П., Мілованов О.Ф., Фомін С.Л., Страхов В.Л., Круковський П.Г., Новак С.В., T. Lie, V. Bartelemi, G. Kruppa, T. Harmathy та інші.

В роботах [3–5] було описано процес створення комп'ютерної моделі вогневої печі, на якій проводилися реальні випробування, в середовищі програмного комплексу CFD FlowVision 2.5, та проведено чисельне дослідження в ході якого, показано ефективність моделювання теплових процесів для подальшого її використання при вивченні впливу конструктивних характеристик вогневих печей на їх метрологічні показники.

Виділення невирішених раніше частин загальної проблеми, котрим присвячується стаття. Відповідно до проведених раніше досліджень [3–5], недосконалість конструкції, метрологічного забезпечення та методів управління паливно-форсуночною системою створюють умови, при яких відбувається нерівномірний розподіл температур на обігрівальній поверхні конструкції.

У існуючих наукових роботах не досліджено вплив нерівномірності розподілу температур по обігрівальній поверхні будівельних конструкцій протягом вогневих випробувань на достовірність їх результатів.

З огляду на це, для проведення досліджень передбачається використання існуючих конструкцій вогневих печей і досвіду проектування подібних пристроїв [6] з урахуванням основних вимог [1, 2].

Постановка задачі та її розв'язання. Використовуючи математичний апарат та моделі описані в [4–5], опираючись на їх адекватність, доведена в [3], за допомогою комп'ютерного моделювання у даній статті було розглянуто ряд геометричних конфігурацій вогневих печей (змінювалися розташування та кількості пальників та отворів для відведення продуктів горіння, тощо) та показано, як конструктивні особливості установки можуть впливати на рівномірність розподілу температур по обігрівальній поверхні горизонтальної конструкції. В результаті було визначено конфігурацію з найбільш рівномірним розподілом температур на обігрівальній поверхні горизонтальної конструкції протягом часу випробувань.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих результатів. У роботі було розглянуто ряд конфігурацій вогневих печей установок для випробування горизонтальних будівельних конструкцій. Кожній з конфігурацій присвоєно одну з літер кирилиці. Для оцінки релевантності роботи змодельованих конструкцій було проаналізовано наступні дані:

- розподіл температур по поверхні конструкції на 60-й хвилині випробувань [7];
- значення дисперсії температур на поверхні кожної зі змодельованих конструкцій камери печі на кожній хвилині обчислювального експерименту та графік зміни їх у часі;
- графік різниці між максимальною та мінімальною температури на поверхні конструкцій протягом усього часу чисельного дослідження у моделях.

На рис.1 показано геометричні особливості розглянутих конфігурацій установок для проведення вогневих випробувань.

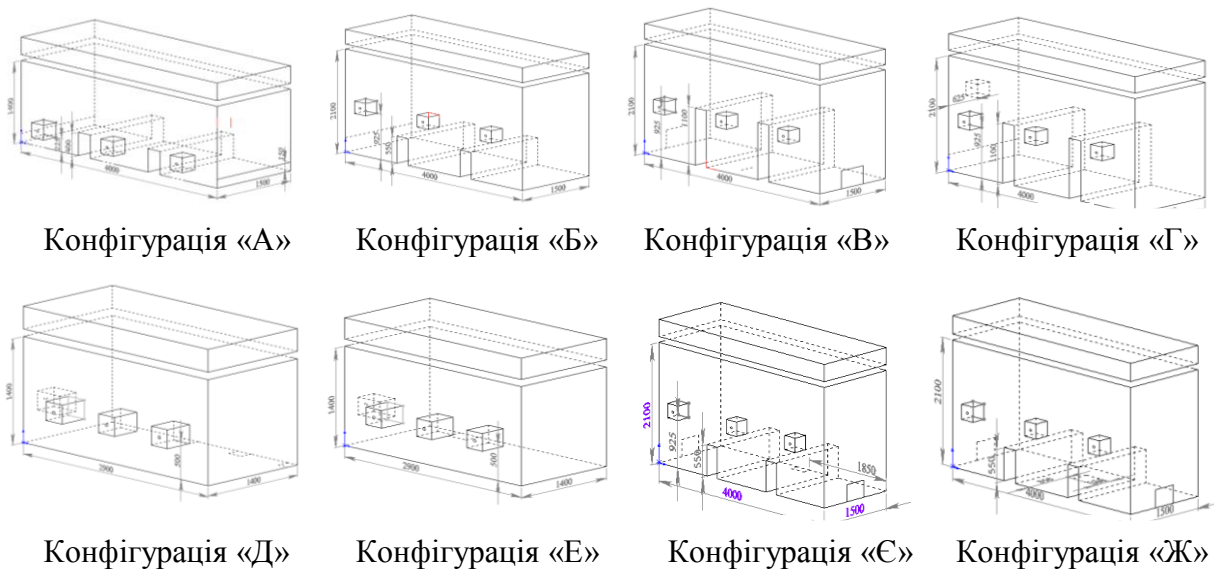


Рисунок 1 – Конфігурації установок для проведення випробувань на вогнестійкість залізобетонних будівельних конструкцій (показано симетричні половини установок).

Конфігурація «А» (рис. 1-а). Зменшено висоту печі та додано додатковий отвір для відведення продуктів горіння.

В конфігурації «Б» (рис. 1-б). Зменшено висоту перегородок всередині камери печі, отвір для відведення залишено без змін у порівнянні з вихідною конфігурацією [3].

Конфігурація «В» (рис. 1-в). Додано додаткові отвори для відведення продуктів горіння з протилежного боку, крім того зменшено розмір отвору відносно початкової конфігурації [3].

Для більш рівномірного розподілу температур у поперечному напрямку було створено конфігурацію «Г» (рис. 1-г). У якій додано додатковий пальник на боковій поверхні зі сторони отвору для відведення продуктів горіння.

Конфігурація «Д» (рис. 1-д). Змінено розміщення отворів для відведення продуктів горіння, зменшено розмір камери печі та додано додатковий пальник на боковій стінці, який знаходиться на одному рівні з іншими пальниками.

Конфігурація «Е» (рис. 1-е). Змінено місце розташування отворів для відведення продуктів горіння відносно конфігурації «Д» (рис. 5).

Конфігурація «Є» (рис. 1-є) створена на основі конфігурації «В». Додано додатковий отвір для відведення продуктів горіння між внутрішніми перегородками.

Конфігурація «Ж» (рис. 1-ж) створена, як удосконалена конфігурації «Є». Додатковий отвір для відведення продуктів горіння між внутрішніми перегородками переміщено у бік пальників.

На рис. 2 показано розподіл температур по поверхні конструкції у кожній з конфігурацій на 60-й хвилині випробувань.

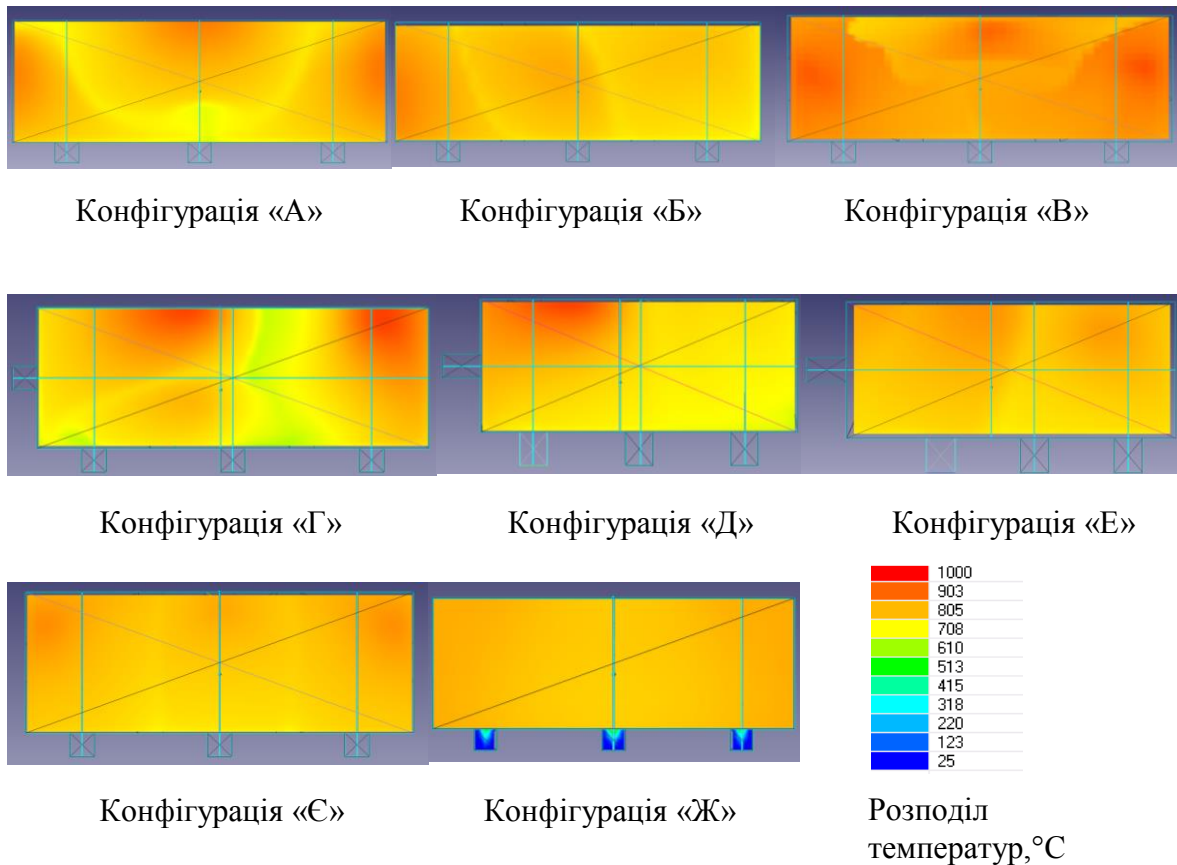


Рисунок 2 – Градієнт температур по обігрівальній поверхні змодельованих конструкцій.

На наш погляд основними недоліками конфігурації «А» (рис. 1-а, рис. 2-а) є, порівняно з іншими конфігураціями, невеликий об'єм камери печі, недосконале розташування отворів для відведення продуктів горіння та зависокі перегородки всередині камери печі. За рахунок цього, залізобетонна конструкція прогрівається нерівномірно. Більш сильний прогрів у середній частині камери печі та над отворами для відведення продуктів горіння. Над перегородками температура найменша.

Змінивши конструкцію внутрішнього простору камери установки (рис. 1-б) температура більш рівномірно розподілилось по обігрівальній поверхні плити (рис. 2-б). Проте, існують місця, у яких конструкція прогрівається більш сильно.

У конфігурації «В» (рис. 1-в) було отримано більш рівномірне розподілення температур (рис. 2-в) у порівнянні з конфігураціями «А» та «Б», але через розміщення отворів для відведення продуктів горіння на бокових стінках – конструкція над ними прогрівається сильніше.

Як видно з рис. 2-г, рис. 2-д та рис. 2-е, створення додаткового пальника на боковій стінці не привело до більшої рівномірності прогріву горизонтальної конструкції, в порівнянні з конфігурацією «В». Тому, дослідження роботи конфігурацій з пальниками на бокових стінках було припинено.

Наступними у нашому дослідженні розподілу температур стали конфігурації «Є» (рис. 1-є) та «Ж» (рис. 1-ж). Додаткові отвори для відведення продуктів горіння між внутрішніми перегородками створили умови для більш рівномірного розподілу температур у порівнянні з описаними вище конфігураціями (рис. 1 – рис. 2).

Для більш наочної демонстрації результатів моделювання на рис. 3 показано зміну температур на обігрівальній поверхні конструкцій за допомогою ізоляцій [7].

Як видно з рис. 3 найменші коливання температури спостерігаються у конфігурації «Ж». Спираючись на результати першого етапу досліджень, ми можемо стверджувати, що дана конструкція є найбільш релевантною.

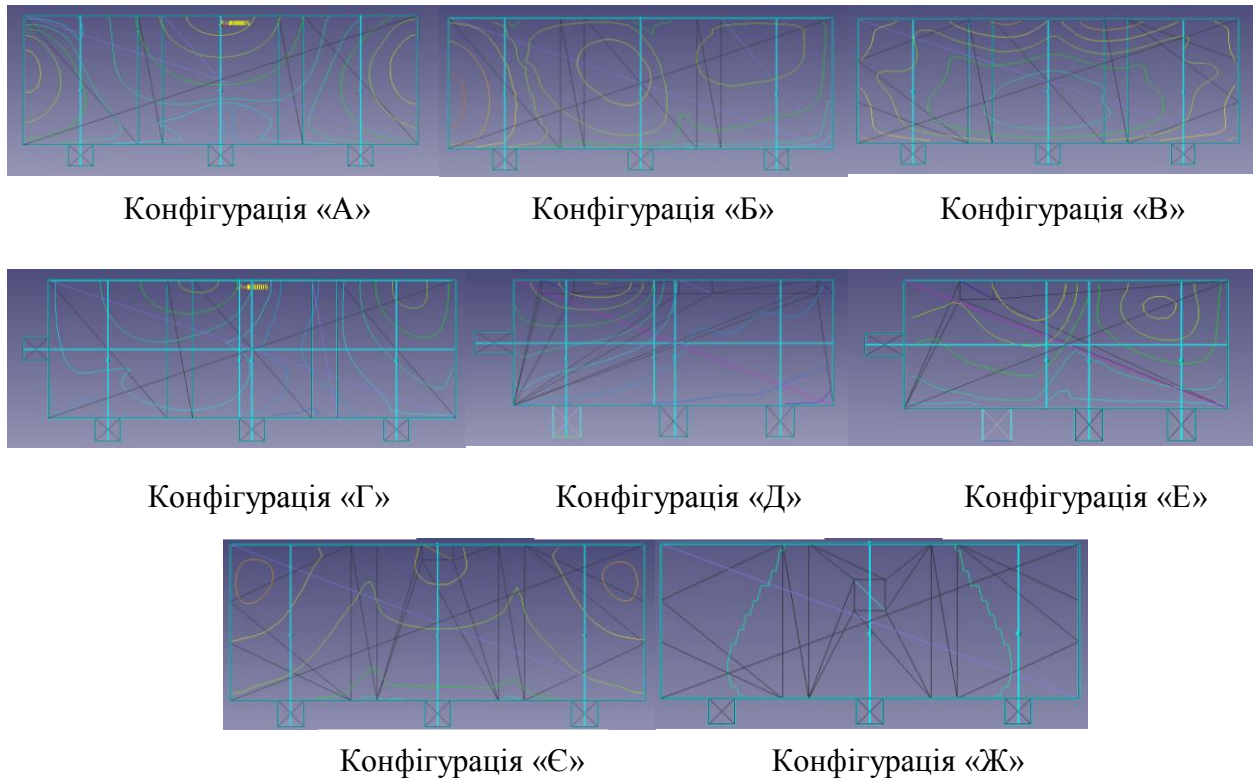


Рисунок 3 – Ізолінії температур по обігрівальній поверхні змодельованих конструкцій.

Наступним етапом дослідження стало визначення значення дисперсії температур на поверхні кожної зі змодельованих конструкцій камери печі на кожній хвилині обчислювального експерименту, після чого побудовано графік зміни її у часі.

Засобами комп'ютерної газогідродинаміки CFD FlowVision 2.5 було створено заливки температури на обігрівальній поверхні плити та отримано розподіл температур на кожній хвилині випробувань для кожної конфігурації [7]. У заливках температур розміщені від 4000 до 5000 осередків (в залежності від особливостей конфігурації), розподілені рівномірно по поверхні конструкції, у яких знаходяться дані щодо температури у будь-який час протягом чисельного дослідження. Опрацювавши ці дані, було розраховано дисперсію температур:

$$S^2 = \frac{\sum_{i=1}^n (T_i - \bar{T})^2}{n}, \quad (1)$$

де n – кількість осередків значень температури, T_i - значення температури осередку, \bar{T} - середнє значення температури на поверхні конструкції.

У отриманих графіках існує певна особливість: у більшості кривих, які відображають числове значення дисперсії температур, існує екстремум. Після початкової фази, зростання значення дисперсії, вона поступово починає зменшуватись. Це можна пояснити, якщо розглянути стандартну температурну криву пожежі [1]. Більш інтенсивна зміна температури в камері вогневої печі на початкових хвилинах випробувань і поступове зменшення різниці граничних значень максимуму і мінімуму. Тому, ми обмежили дослідження 60-тою хвилиною розрахунку (рис. 4).

Ще однією виділеною нами особливістю є те, що чим менше значення екстремуму, тим раніше відносно часової кривої він досягається.

Якщо детально розглянути створені конфігурації, то найменші значення дисперсій на усьому часовому проміжку спостерігаються у конфігураціях «Є» та «Ж». Найбільше

значення дисперсії у конфігурації «Ж» спостерігається на 33-й хвилині випробувань, у конфігурації «Є» на 39-й хвилині. В цей же час, у конфігураціях «Г» та «Д» максимальне значення дисперсії до 60-ї хвилини досягнуто не було.

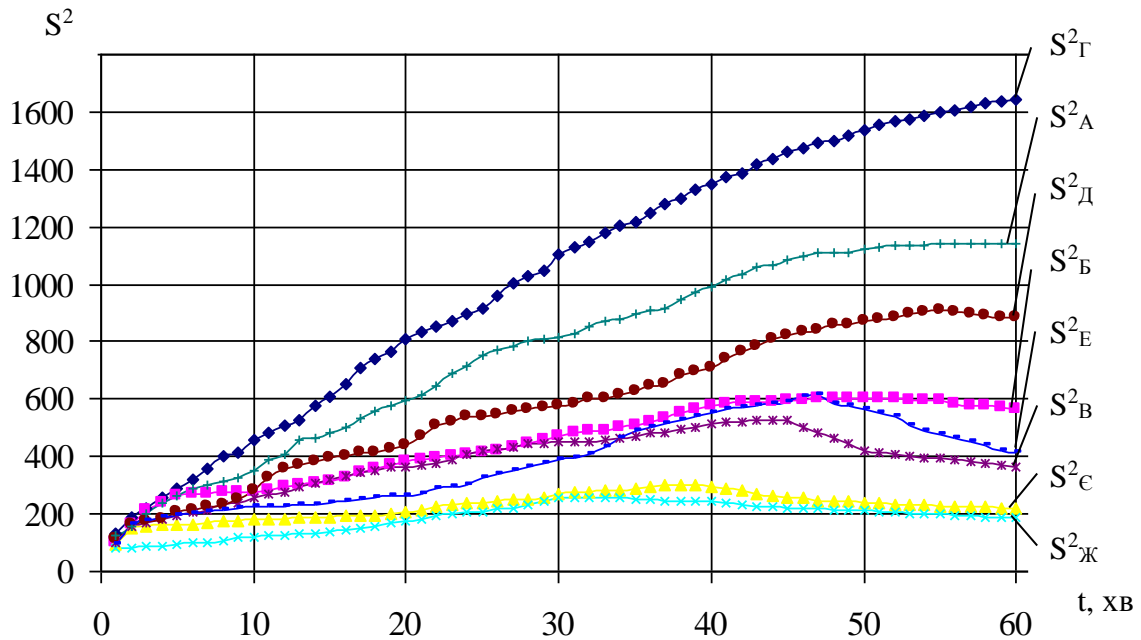


Рисунок 4 – Дисперсія температур по обігрівальній поверхні горизонтальної будівельної конструкції під час чисельного дослідження.

Розглянувши усі створені конфігурації, можемо сказати, що середнє значення часу, на якому екстремум досягається, 45-та – 50-та хвилина випробувань, коли допустима різниця між максимально та мінімально допустимою температурою в камері печі зменшується [1].

Для того, щоб підтвердити коректність даних графіку рис.4, на рис. 5 показано різницю між максимальною та мінімальною температурою на обігрівальній поверхні залізобетонних плити під час чисельного дослідження.

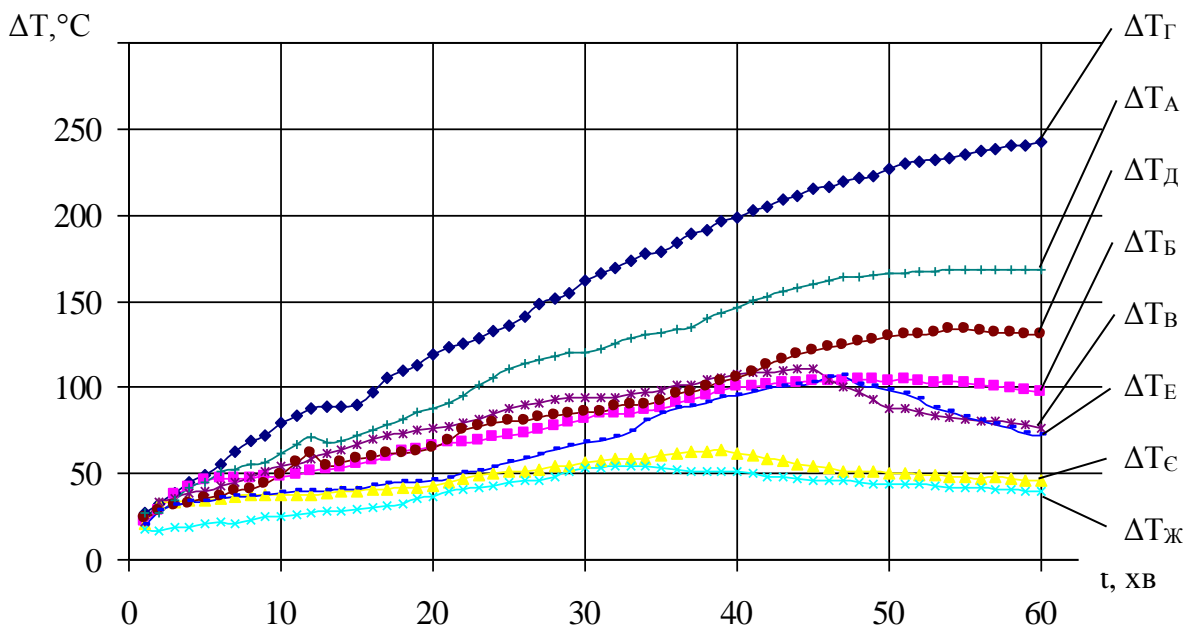


Рисунок 5 – Різниця між максимальною та мінімальною температурою на обігрівальній поверхні горизонтальної будівельної конструкції під час чисельного дослідження.

Відповідно до рис. 5 максимальна різниця температур на обігрівальній поверхні горизонтальної будівельної конструкції у конфігурації «Ж» склала 54,6°C на 33-й хвилині випробувань, у конфігурації «Є» - 64,8°C на 38-й хвилині. В цей же час, у модифікаціях «Г» та «Д» максимальне значення різниці температур знаходиться на 60-й хвилині, що говорить про недосконалість конфігурацій.

Розглянувши усі створені конфігурації, можемо сказати, що середнє серед усіх конфігурацій максимальне значення різниці температур на обігрівальній поверхні горизонтальної конструкції, спостерігається на 45-тій хвилині випробувань, і складає близько 100°C.

Виходячи з отриманих даних, можемо зробити висновки.

Висновки. У даній роботі показано результати чисельного моделювання ряду комп'ютерних конфігурацій установки для випробування горизонтальних будівельних конструкцій. Виходячи з отриманих кривих значень дисперсії температури на поверхні кожної зі змодельованих конструкцій камери печі на кожній хвилині обчислювального експерименту (рис. 4) та різниці між максимальною та мінімальною температури на поверхні конструкцій (рис. 5) визначено конфігурацію з найбільш рівномірним розподілом температур на обігрівальній поверхні горизонтальної конструкції, що дозволяє зменшити похибку, яка виникає за рахунок нерівномірності розподілу температур на обігрівальній поверхні горизонтальних конструкцій під час випробувань на вогнестійкість.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Захист від пожежі. Будівельні конструкції. Методи випробування на вогнестійкість. Загальні вимоги (ISO 834:1975): ДСТУ Б В.1.1-4-98. – [Чинний від 1998-10-28]. - К.: Укрархбудинформ, 1999. – 21с. – (Державний стандарт України).
2. Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва. ДБН В.1.1-7-2002. - [Чинний від 2003-05-01]. - К.: Держпожбезпека, 2003. – 87с. – (Державні будівельні норми).
3. Дослідження адекватності математичної моделі тепломасообміну випробувань на вогнестійкість будівельних конструкцій / Нуянзін О.М., Поздєєв С.В., Андрієнко В.М. [та ін.] // Пожежна безпека : теорія і практика : зб. наук. праць. – Черкаси: АПБ, 2013. – № 13. – С. 91 – 100.
4. Нуянзін О.М. Дослідження впливу конструкції вимірювальної арматури вогневих печей на адекватність результатів випробувань на вогнестійкість / Нуянзін О.М., Поздєєв С.В. // Пожежна безпека : теорія і практика : зб. наук. праць. – Черкаси: АПБ, 2011. – № 9. – С. 99 – 105.
5. Метрологічні особливості вогневих випробувань залізобетонних будівельних конструкцій на вогнестійкість / Поздєєв С.В., Тищенко О.М., Нуянзін О.М. [та ін.] // Пожежна безпека : теорія і практика : зб. наук. праць. – Черкаси: АПБ, 2011. – № 8. – С. 73 – 79.
6. Новак С.В. Методи випробувань будівельних конструкцій та виробів на вогнестійкість / Новак С.В., Нефедченко Л.М., Абрамов О.О. – Київ: Пожінформтехніка, 2010. – 132 с.
7. Система моделювання движения жидкости и газа. FlowVision Версия 2.5.4. Руководство пользователя. – Москва: ТЕСИС. – 2008. – 284 с.