

УДК 614.841.332

С. О. Сідней,

Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля НУЦЗ України

ЧИСЕЛЬНЕ ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВИПРОБУВАНЬ НА ВОГНЕСТІЙКІСТЬ НЕСУЧИХ СТІН У ВОГНЕВИХ ПЕЧАХ РІЗНОЇ КОНФІГУРАЦІЇ

У даній роботі представлено результати чисельного моделювання процесу випробування на вогнестійкість несучих стін 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 температурою на поверхні залізобетонної конструкції. Визначено конфігурацію з найбільш рівномірним розподілом температур на обігрівальній поверхні вертикальної конструкції.

Ключові слова: несуча стіна, чисельне моделювання, обчислювальна газогідродинаміка (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 вертикальних конструкцій, зокрема несучих стін.

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, B. Barteleml, G. Kruppa, T. Narmathy та інші.

У 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 обчислювальний експеримент 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 залізобетонних стін протягом вогневих випробувань на достовірність їх результатів.

З огляду на це, для проведення досліджень передбачається використання існуючих конструкцій вертикальних 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 [3–4], опираючись на їх адекватність, доведена в [5], за допомогою комп'ютерного моделювання у даній статті було розглянуто ряд геометричних конфігурацій вертикальних 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 стін. В результаті було

визначено конфігурацію з найбільш рівномірним розподілом температур на обігрівальній поверхні вертикальної конструкції протягом часу випробувань.

Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих результатів. У роботі було розглянуто ряд конфігурацій вогневих печей установок для випробування вертикальних 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 обчислювального експерименту у моделях.

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

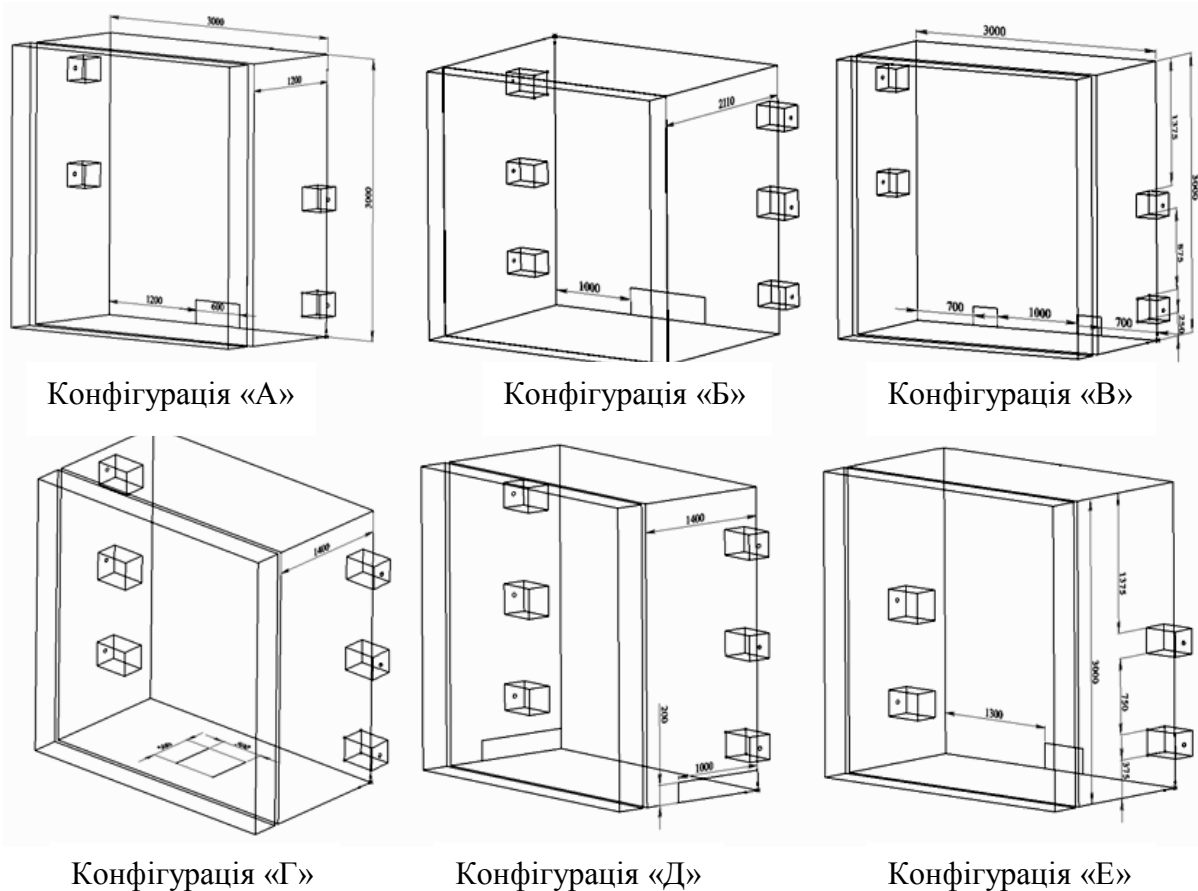


Рисунок 1 – Конфігурації установок для проведення випробувань на вогнестійкість несучих стін.

Конфігурація «А» (рис. 1-а). Змінено розміри, кількість та розташування отворів для відведення продуктів горіння.

У конфігурації «Б» (рис. 1-б). Збільшено кількість пальників; змінено розміри, кількість та розташування отворів для відведення продуктів горіння, збільшено глибину печі у порівнянні з вихідною конфігурацією [3].

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

Для більш рівномірного розподілу температур по вертикалі було створено конфігурацію «Г» (рис. 1-г). У якій отвір для відведення продуктів горіння знаходиться у дні печі.

Конфігурація «Д» (рис. 1-д). Змінено розміщення отворів для відведення продуктів горіння, додано додаткові пальники, які знаходяться на одному рівні з іншими пальниками.

Конфігурація «Е» (рис. 1-е). Змінено розміщення отворів для відведення продуктів горіння, змінено розміщення пальників.

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

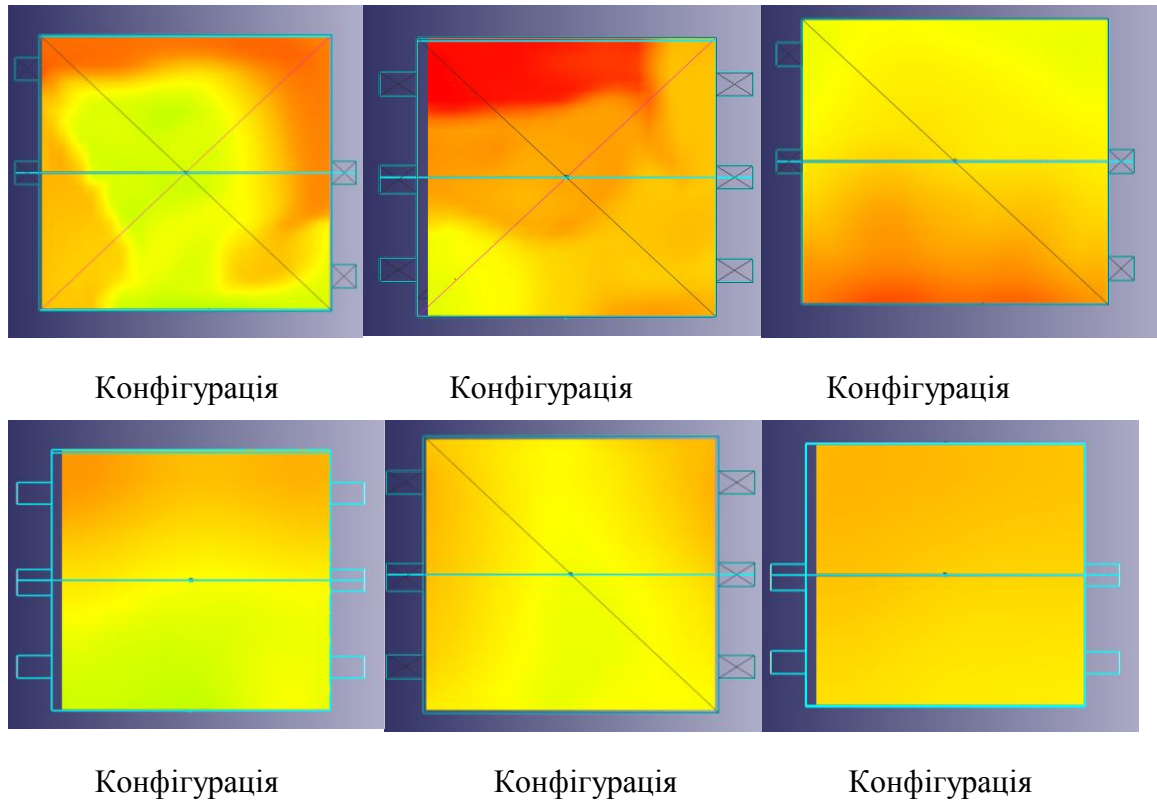


Рисунок 2 – Градієнт температур по обігрівальній поверхні змодельованих конструкцій.

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. За рахунок цього, залізобетонна конструкція прогрівається нерівномірно. Конструкція прогрівається слабше у середній частині камери печі та над отворами для відведення продуктів горіння.

Змінивши конструкцію внутрішнього простору камери установки (рис. 1-б) температура ще менш рівномірно розподілилась по обігрівальній поверхні плити (рис. 2-б). Проте, відбувся більш характерний розподіл температур по вертикалі.

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 ближче до пальників, але конвективно потоки також були направлені у бік означених отворів і більша температура спостерігалась у цій області.

Як видно з рис. 2-г отвір у середній частині дна печі привів до більшої рівномірності прогріву конструкції, в порівнянні з конфігурацією «В». Тому, дослідження роботи конфігурацій вирішено було продовжити.

Наступними у нашому дослідженні розподілу температур стали конфігурації «Е» (рис. 1-е) та «Д» (рис. 1-ж). Переваги конфігурації «Е» у тому, що нагрів відбувається за допомогою 4-х пальників, але їх розміщення змінене, у порівнянні з вихідною конфігурацією (рис. 1 – рис. 2).

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

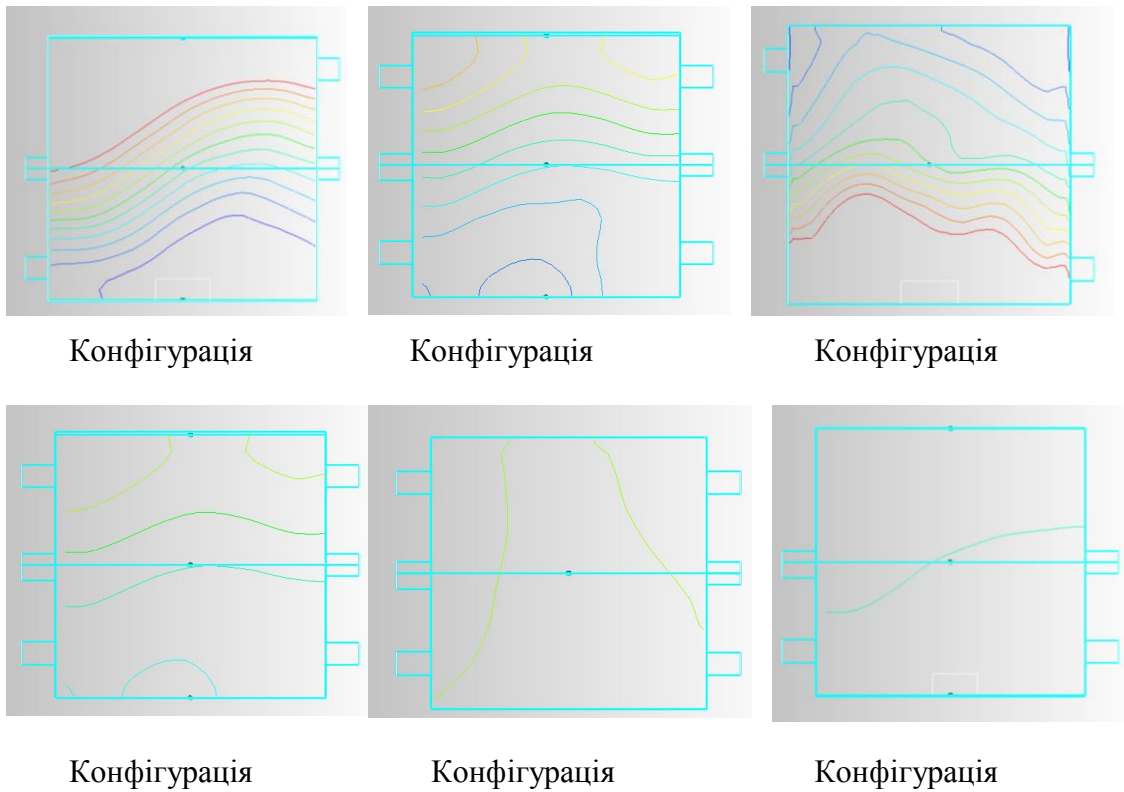


Рисунок 3 – Ізолінії температур по обігрівальній поверхні змодельованих конструкцій.

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

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 несучої стіни та отримано розподіл температур на кожній хвилині випробувань для кожної конфігурації [7]. У заливках температур розміщені від 6000 до 7500 комірок (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 стіни.

У отриманих графіків 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).

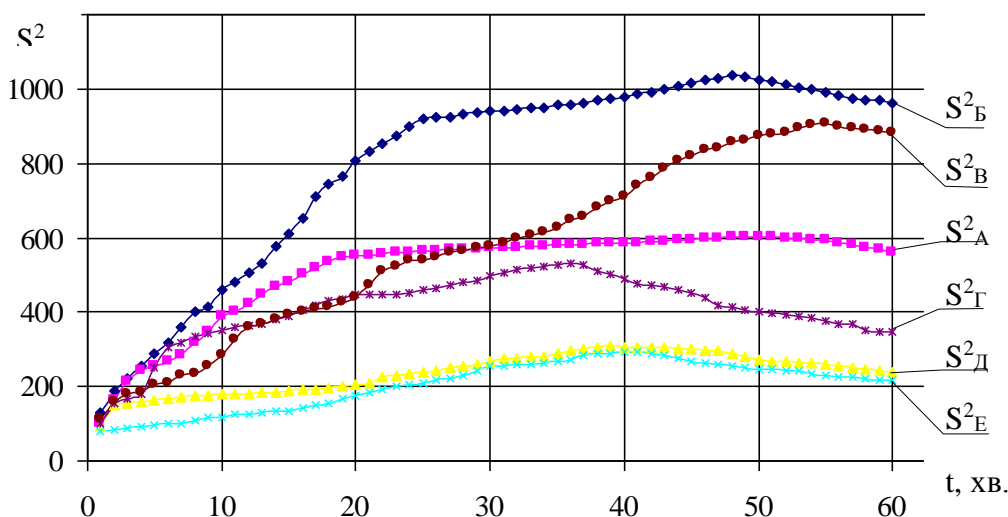


Рисунок 4 – Дисперсія температур по обігрівальній поверхні несучої стіни під час обчислювального експерименту.

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 «Е» та «Д». Найбільше значення дисперсії у конфігурації «Е» спостерігається на 40-й хвилині випробувань, у конфігурації «Д» на 41-й хвилині. В цей же час, у конфігураціях «А» та «Б» максимальне значення дисперсії було досягнуто майже на 60-й хвилині.

Розглянувши усі створені конфігурації, можемо сказати, що середнє значення часу, на якому екстремум досягається, 45-та – 50-та хвилини 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 несучої стіни під час чисельного дослідження.

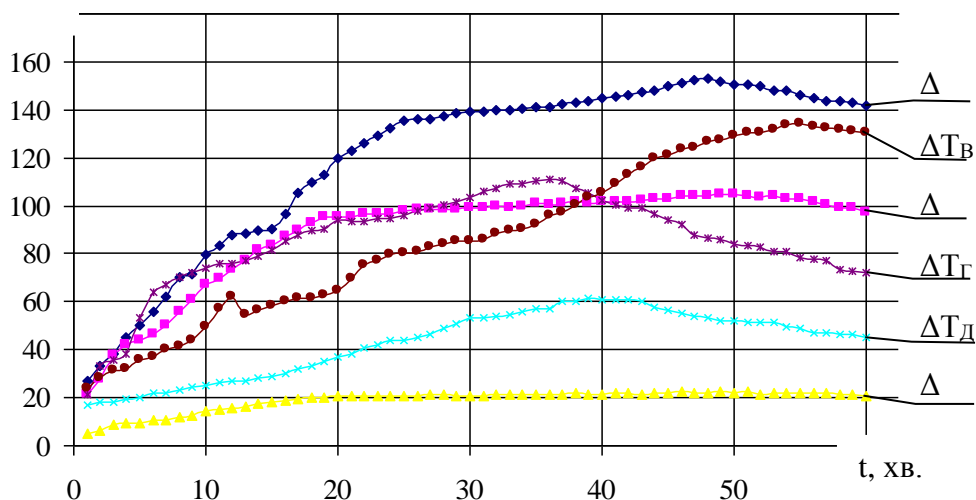


Рисунок 5 – Різниця між максимальною та мінімальною температурою на обігрівальній поверхні несучої стіни під час обчислювального експерименту.

Відповідно до рис. 5 максимальна різниця температур на обігрівальній поверхні несучої стіни у конфігурації «Е» склала 23,4 °С на 40-й хвилині випробувань, у конфігурації «Д» - 61,8 °С на 38-й хвилині.

Розглянувши усі створені конфігурації, можемо сказати, що середнє серед усіх конфігурацій максимальне значення різниці температур на обігрівальній поверхні конструкції, спостерігається на 41-шій хвилині випробувань, і складає близько 100 °С.

Виходячи з отриманих даних, можемо зробити висновки.

Висновки. У даній роботі показано результати чисельного моделювання ряду комп'ютерних конфігурацій установки для випробування несучих стін. 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 несучої стіни, що дозволяє зменшити похибку, яка виникає за рахунок нерівномірності розподілу температур на обігрівальній поверхні 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. Аналіз існуючих математичних моделей тепломасообміну у камерах вогневих печей установок для випробувань на вогнестійкість несучих стін / Нуянзін О. М., Поздеев С. В., Сідней С. О. [та ін.] // Пожежна безпека : теорія і практика : зб. наук. праць. – Черкаси: АПБ, 2013. – № 18. – С. 91 – 100.
4. Влияние дисперсии температур на обогреваемых поверхностях горизонтальных железобетонных строительных конструкций на значение их предела огнестойкости во время испытаний этих конструкций в огневых печах / Нуянзін О. М., Сідней С. О., Поздеев С.В. // Чрезвычайные ситуации: образование и наука : международный научно-практический журнал. – Гомель : ГИИ, МЧС РБ 2015. – , Том 15, № 1. С. 158 – 164.
5. Вплив конструктивних особливостей вогневих печей на достовірність результатів випробувань стін на вогнестійкість / Сідней С. О., Нуянзін О. М., Поздеев С.В.// Науковий вісник Українського науково-дослідного інституту пожежної безпеки : зб. наук. праць. – Київ : УкрНДІЦЗ, 2015. – № 1 (31). – С. 4–12.
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 моделирования движения жидкости и газа. FlowVision Версия 2.5.4. Руководство пользователя. – Москва: ТЕСИС. – 2008. – 284 с.