

УДК 614.841.332

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ КОНФІГУРАЦІЇ ВОГНЕВОЇ ПЕЧІ НА РІВНОМІРНІСТЬ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ПО ОБІГРІВАЛЬНІЙ ПОВЕРХНІ ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ СТІНИ ПРИ ЇЇ ВИПРОБУВАННЯХ НА ВОГНЕСТІЙКІСТЬ

О.М. Нуянзін<sup>1\*</sup>, канд. техн. наук, М.А. Кришталь<sup>1</sup>, канд. психол. наук, проф., К.В. Болжаларський<sup>2</sup>, С.О. Сідней<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля Національного університету цивільного захисту України

<sup>2</sup>ГУ ДСНС України в Запорізькій області

### ІНФОРМАЦІЯ ПРО СТАТТЮ

Надійшла до редакції: 13.06.2016

Пройшла рецензування: 14.07.2016

#### Ключові слова:

обчислювальний експеримент, дисперсія температури, несуча стіна, рівномірність температурного поля.

### АНОТАЦІЯ

У даній роботі представлено результати чисельного моделювання процесу випробування на вогнестійкість залізобетонних 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 залізобетонної стіни.

**Постановка проблеми.** Оскільки випробування у вогневих печах [1, 2] здійснюється в умовах «стандартного» температурного режиму, виникає питання про рівномірність прогріву залізобетонної стіни в залежності від конфігурації 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 вертикальної конструкції, зокрема залізобетонної стіни.

**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.

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 модель, описані в [3–4], опираючись на їх адекватність, доведено 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.

\* E-mail: nuyanzin@i.ua (O. Nuianzin)

**Виклад основного матеріалу дослідження з повним обґрунтуванням отриманих результатів.**

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

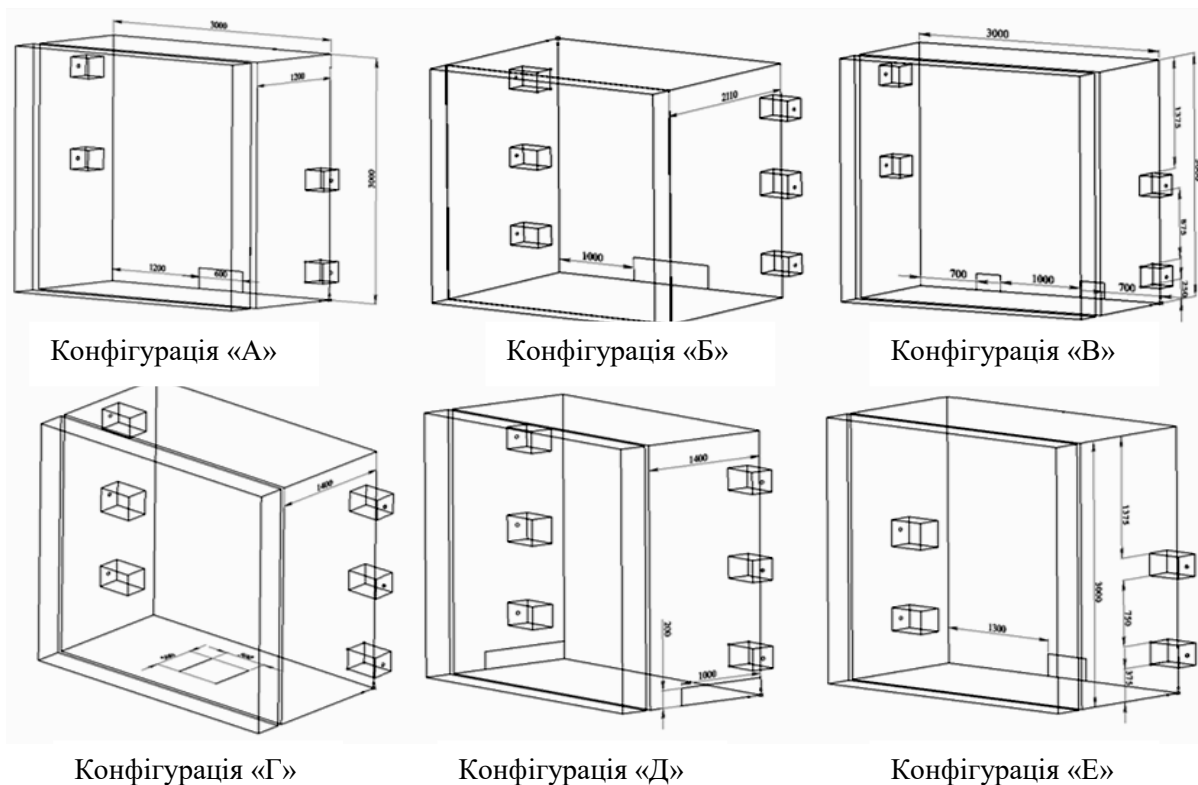


Рисунок 1 – Конфігурації установок для проведення випробувань на вогнестійкість залізобетонних стін.

У роботі було розглянуто ряд конфігурацій вогневих печей установок для випробування вертикальних будівельних конструкцій. Кожній з конфігурацій присвоєно одну з літер кирилиці. Оскільки, метою роботи було дослідження рівномірності прогріву залізобетонної стіни в залежності від конфігурації та дизайну вогневої випробувальної печі нами проаналізовано наступні дані, отримані у результаті обчислювальних експериментів:

- розподіл температур по поверхні конструкції на 60-й хвилині випробувань [5];
- 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. 2 показано розподіл температур по поверхні конструкції у кожній з конфігурацій на 60-й хвилині випробувань.

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.

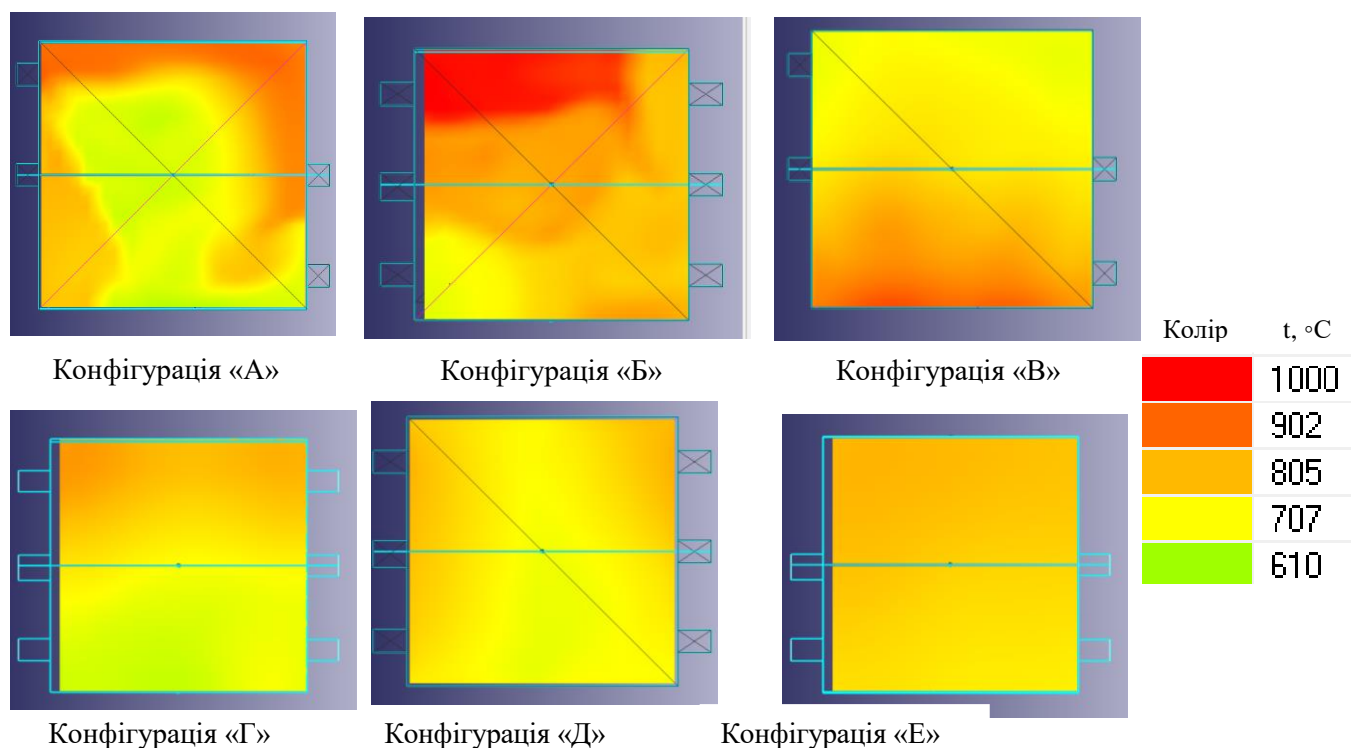


Рисунок 2 – Розподіл температур по обігрівальній поверхні змодельованих конструкцій на 60-й хвилині обчислювального експерименту.

На наш погляд основними недоліками конфігурації «А» (рис. 1-а, рис. 2-а), порівняно з іншими конфігураціями, є невеликий об'єм камери печі, недосконале розташування отворів для відведення продуктів горіння. За рахунок цього, залізобетонна конструкція прогривається нерівномірно. Конструкція прогривається слабше у середній частині камери печі та над отворами для відведення продуктів горіння.

Змінивши конструкцію внутрішнього простору камери установки (рис. 1-б) та провівши обчислювальний експеримент, ми отримали результати більшого, у порівнянні з попереднім експериментом температурного перепаду по обігрівальній поверхні стіни (рис. 2-б). Проте, перепад температури спостерігався переважно по вертикалі.

У конфігурації «В» (рис. 1-в) було отримано більш рівномірне розподілення температур (рис. 2-в) у порівнянні з конфігураціями «А» та «Б».

Як видно з рис. 2-г отвір у середній частині дна печі привів до більшої рівномірності прогріву конструкції, в порівнянні з конфігурацією «В».

Наступними у нашому дослідженні розподілу температур стали конфігурації «Е» (рис. 1-е) та «Д» (рис. 1-д). 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).

Наступним етапом дослідження було визначення значення дисперсії температур на поверхні кожної зі змодельованих конструкцій камери печі на кожній хвилині обчислювального експерименту. На рис. 3 показано дисперсії температур по обігрівальним поверхням залізобетонних стін під час обчислювального експерименту у всіх шести конфігураціях (рис.1).

Засобами комп'ютерної газогідродинаміки CFD FlowVision 2.5 було отримано розподіл температур на обігрівальній поверхні залізобетонної стіни на кожній хвилині випробувань для кожної конфігурації [7]. За допомогою програмного комплексу на поверхні стіни 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.

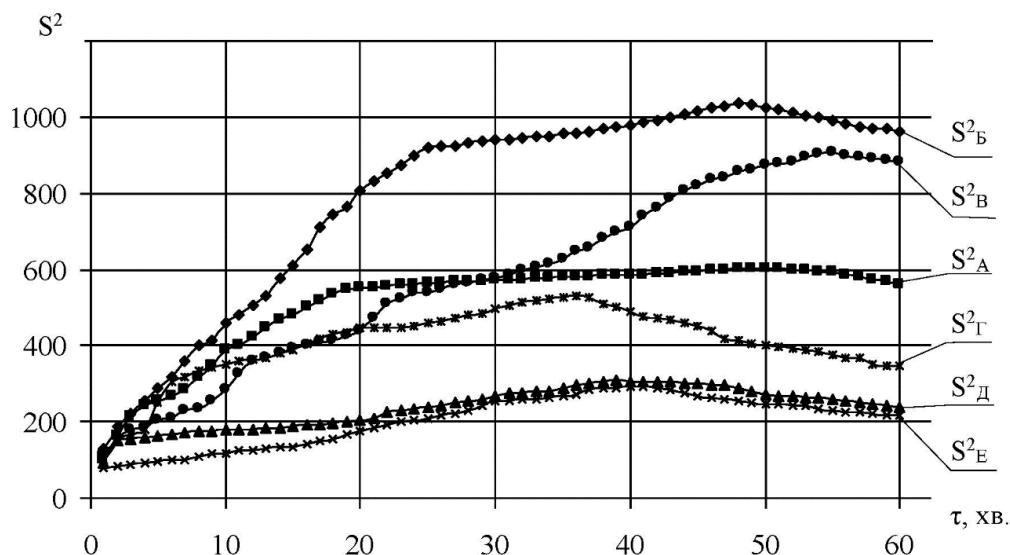


Рисунок 3 – Дисперсія температур по обігрівальній поверхні залізобетонної стіни під час обчислювального експерименту.

У отриманих графіках існує певна особливість: у більшості кривих, які відображають числові значення дисперсії температур, існує екстремум. Після початкової фази, зростання значення дисперсії, вона поступово починає зменшуватись. Це можна пояснити, якщо розглянути стандартну температурну криву пожежі, у якій більш інтенсивне підвищення температури в камері вогневої печі спостерігається на початкових хвилинах випробувань і поступове зменшення різниці граничних значень максимуму і мінімуму з часом [1]. Тому, ми обмежили дослідження 60-тою хвилиною розрахунку (рис. 3).

Ще однією виділеною нами особливістю є те, що чим менше значення екстремуму, тим раніше 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 «Б» та «В» максимальне значення дисперсії було досягнуто на 48-й та 54-й хвилині відповідно.

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].

На рис. 4 показано різницю між максимальною та мінімальною температурою на обігрівальній поверхні залізобетонної стіни під час чисельного дослідження.

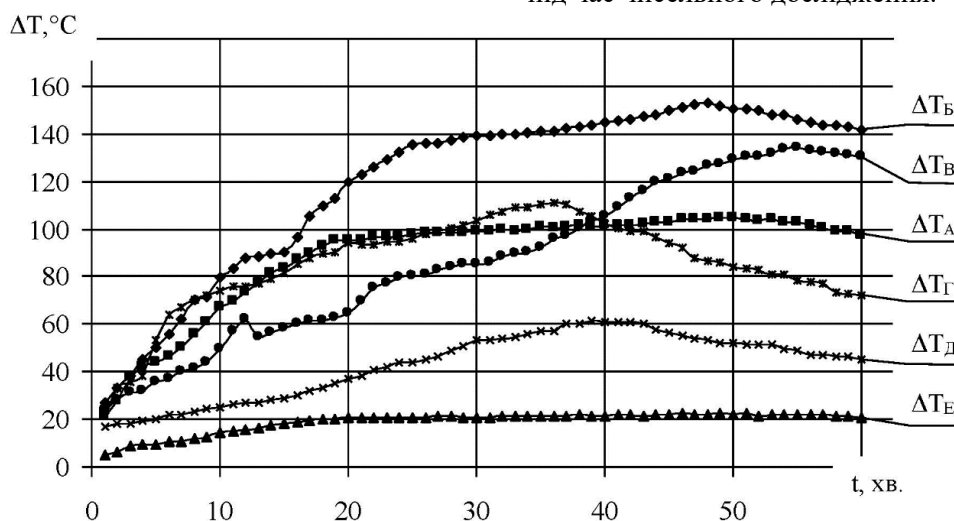


Рисунок 4 – Різниця між максимальною та мінімальною температурою на обігрівальній поверхні залізобетонної стіни під час обчислювального експерименту.

Відповідно до рис. 4 максимальна різниця температур на обігрівальній поверхні залізобетонної 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.

**Висновки.** У даній роботі показано результати чисельного моделювання ряду комп'ютерних конфігурацій установки для випробування залізобетонних стін. Виходячи з отриманих кривих значень дисперсії температури на поверхні кожної зі змодельованих конструкцій камери печі на кожній хвилині обчислювального експерименту (рис. 3) та різниці між максимальною та мінімальною температури на поверхні конструкцій (рис. 4) визначено конфігурацію з найбільш рівномірним розподілом температур на обігрівальній поверхні залізобетонної 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.: Укрархбудінформ, 1999. – 21 С. – (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. – 87 С. – (Державні будівельні норми).
3. Аналіз існуючих математичних моделей тепломасообміну у камерах вогневих печей установок для випробувань на вогнестійкість залізобетонних стін / Нуязін О. М., Поздеев С. В., Сідней С. О. [та ін.] // Пожежна безпека : теорія і практика : зб. наук. праць. – Черкаси: АПБ, 2015. – № 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 / Нуязин О. М., Сидней 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., Нуязін О. М., Поздеев С.В. // Науковий вісник Українського науково-дослідного інституту пожежної безпеки : зб. наук. праць. – Київ : УкрНДЦЗ, 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.

## ИССЛЕДОВАНИЕ НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫХ АКТОВ И ДОКУМЕНТООБОРОТА ЛЕСОПРОМЫШЛЕННОГО ОБЛАСТИ С ЦЕЛЬЮ РАЗРАБОТКИ ПРОЕКТА ФОРМЫ ПАСПОРТА ПОТЕНЦИАЛЬНО ОПАСНОГО ОБЪЕКТА НА ЛЕСНОЙ УЧАСТОК

*O. Nuianzin<sup>1</sup>, Cand. of Sc. (Eng.), M. Kryshchal<sup>1</sup>, Cand. of Sc. (Eng.), Prof., K. Bolzhalarskyi<sup>2</sup>, S. Sidney<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Черкаський інститут пожежної безпеки імені Героїв Чорнобыля Національного університету громадянської захисту України

<sup>2</sup> ГУ ДСНС України в Запорізькій області

---

### КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА

вычислительный эксперимент, дисперсия температуры, несущая стена, равномерность температурного поля.

### АННОТАЦИЯ

В данной работе представлены результаты численного моделирования процессов испытания на огнестойкость железобетонных стен при различных конфигурациях огневых печей. Исходя из полученных результатов построены зависимости значений дисперсии температуры на поверхности каждой из смоделированных конструкций камеры печи в течение вычислительного эксперимента, а также разница между максимальной и минимальной температурами на поверхности железобетонной конструкции. Определены конфигурации с наиболее равномерным распределением температур на обогреваемых поверхностях железобетонной стены.

## STUDY OF CONFIGURATION FIRING FURNACE AT THE TEMPERATURE FIELD UNEVEN HEATING ON SURFACE REINFORCED CONCRETE WALLS IN ITS FIRE RESISTANCE TEST

*O. Nuianzin<sup>1</sup>, Cand. of Sc. (Eng.), M. Kryshchal<sup>1</sup>, Cand. of Sc. (Eng.), Prof., K. Bolzhalarskyi<sup>2</sup>, S. Sidney<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Cherkassy Institute of Fire Safety named after Chernobyl Heroes of National University of Civil Defense of Ukraine

<sup>2</sup> General Directorate of State Service of Ukraine of Emergencies in Zaporizhia oblast'

---

### KEYWORDS

basic fire system model, system analysis of the gas environment medium-volume temperature, leaking room

### ANNOTATION

This paper presents the results of numerical modeling of the process to test the fire resistance of bearing walls in different configurations firing furnaces. Based on the results plotted values dispersion surface temperature of each chamber furnace modeled structures for computational experiment and the difference between the maximum and minimum temperature on the surface of concrete structures. Defined configuration with the most uniform temperature distribution on the heating surface bearing wall