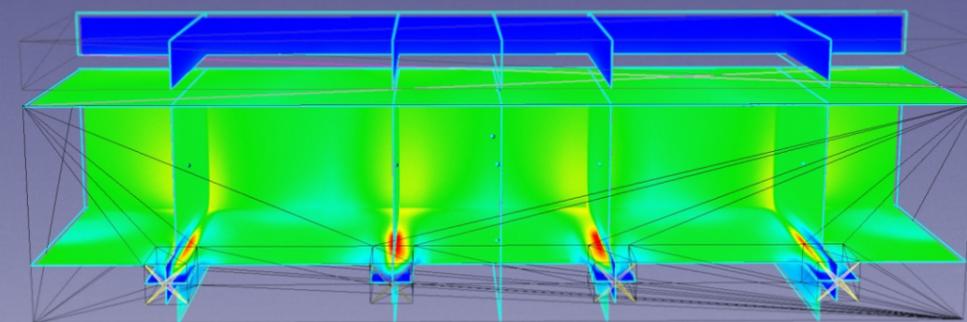


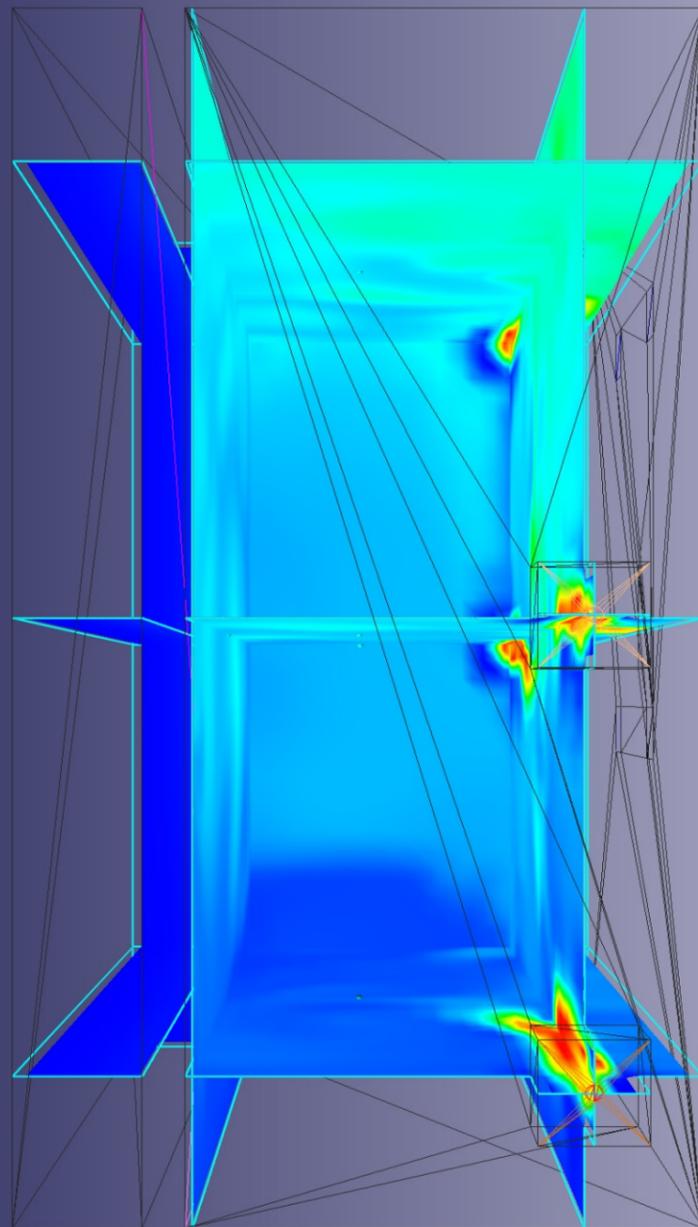
О. М. Нуянзін, О. В. Некора, С. В. Поздеев,  
С. О. Сідней, Є. О. Тищенко, М. Г. Шкарабура

МЕТОДИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВИХ  
ПРОЦЕСІВ ПРИ ВИПРОБУВАННЯХ НА ВОГНЕСТІЙКІСТЬ  
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ

монографія



Черкаси  
2015



О. М. Нуянзін, О. В. Некора, С. В. Поздеев,  
С. О. Сідней, Є. О. Тищенко, М. Г. Шкарабура

**МЕТОДИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВИХ  
ПРОЦЕСІВ ПРИ ВИПРОБУВАННЯХ НА ВОГНЕСТІЙКІСТЬ  
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ**

Черкаси  
2015

Друкується відповідно до рішення  
Вченої ради Національного університету  
цивільного захисту України  
(протокол № 11 від 08 квітня 2015 р.)

УДК 614.841.332

Методи математичного моделювання теплових процесів при випробуваннях на вогнестійкість залізобетонних будівельних конструкцій / О. М. Нуянзін, О. В. Некора, С. В. Поздєєв, С. О. Сідней., Є. О. Тищенко, М. Г. Шкарабура – Черкаси: ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України, 2015. – 120 с.

Описані методи математичного моделювання теплових процесів при випробуваннях на вогнестійкість залізобетонних будівельних конструкцій. За допомогою розроблених моделей одержано залежність значень межі вогнестійкості горизонтальних залізобетонних будівельних конструкцій від дисперсії температур на їхніх обігрівальних поверхнях, а також похибки визначення межі вогнестійкості цих конструкцій. Також обґрунтовано конструктивні параметри вогневої печі, які забезпечують мінімально можливі дисперсії температур по обігрівальній поверхні плити при випробуваннях на вогнестійкість горизонтальних залізобетонних будівельних конструкцій та алгоритм їх визначення. Показано, що використання уточнених розрахункових методів для визначення межі вогнестійкості попередньо напруженої ребристої залізобетонної плити є ефективним.

Для наукових, науково-педагогічних співробітників, докторантів, аспірантів (ад'юнктів), слухачів, курсантів та студентів, що володіють відповідним математичним апаратом в межах навчальної програми технічного вузу III-IV рівня акредитації.

Рецензенти: доктор технічних наук, професор Осипенко В. І.,  
доктор технічних наук, професор Абрамов Ю. О.

© Нуянзін О. М., Некора О. В., Поздєєв С. В.,  
Сідней С. А., Тищенко Є. О., Шкарабура М. Г.

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТАНУ НОРМАТИВНОЇ БАЗИ ТА НАУКОВИХ РОЗРОБОК ЩОДО ВИПРОБУВАНЬ ІЗ ВИЗНАЧЕННЯ ВОГНЕСТІЙКОСТІ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ.....	6
1.1. Технічні умови проведення вогневих випробувань у печах установок для вогневих випробувань.....	6
1.2. Засоби випробувань будівельних конструкцій на вогнестійкість за стандартним температурним режимом.....	8
1.3. Методи математичного моделювання теплових процесів.....	19
РОЗДІЛ 2. ЗАСТОСУВАННЯ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ, ЗАСНОВАНИХ НА ВИКОРИСТАННІ ПОВНОЇ СИСТЕМИ РІВНЯНЬ НАВ'Є – СТОКСА, ДЛЯ ОБЧИСЛЮВАЛЬНИХ ЕКСПЕРИМЕНТІВ ІЗ ВИЗНАЧЕННЯ ВОГНЕСТІЙКОСТІ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ.....	25
2.1. Застосування математичних моделей на основі повної системи рівнянь Нав'є – Стокса для опису процесів, що відбуваються в камері вогневої печі.....	25
2.2. Особливості теоретичної бази, що застосовують у програмних продуктах обчислювальної газогідродинаміки.....	35
2.3. Особливості комп'ютерних моделей тепломасообміну у вогневих печах під час випробування залізобетонних конструкцій на вогнестійкість.....	37
2.4. Методика проведення обчислювального експерименту з випробування залізобетонних конструкцій на вогнестійкість.....	50
2.5. Результати обчислювальних експериментів із випробувань на вогнестійкість у комп'ютерних моделях вогневих печей.....	55
2.6. Статистичне оброблення результатів вогневих випробувань та обчислювальних експериментів із їх моделювання.....	60
РОЗДІЛ 3. ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ З ВИЗНАЧЕННЯ МЕЖІ ВОГНЕСТІЙКОСТІ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ ТА ПЕРЕВІРКА АДЕКВАТНОСТІ МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ПРОЦЕСУ ТЕПЛОМАСООБМІНУ В КАМЕРАХ ВОГНЕВИХ ПЕЧЕЙ.....	63
3.1. Експериментальне випробування на вогнестійкість залізобетонних плит перекриття в спеціалізованій лабораторії. Методика та результати....	63
3.2. Геометричні особливості комп'ютерної конфігурації камери горизонтальної випробувальної установки.....	69
3.3. Перевірка адекватності математичної моделі горизонтальної вогневої печі побудованої на основі повної системи рівнянь Нав'є – Стокса.....	71

Розділ 4. ОБҐРУНТОВАННЯ АЛГОРИТМУ ВИЗНАЧЕННЯ ТА КОНСТРУКТИВНИХ ПАРАМЕТРІВ ВОГНЕВОЇ ПЕЧІ, ЯКІ ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬ МІНІМАЛЬНО МОЖЛИВІ ДИСПЕРСІЇ ТЕМПЕРАТУР НА ОБІГРІВАЛЬНІЙ ПОВЕРХНІ ПЛИТИ ПІД ЧАС ВИПРОБУВАНЬ НА ВОГНЕСТІЙКІСТЬ.....	76
4.1 Теоретичні передумови обчислювального експерименту.....	76
4.2 Визначення та конструктивних параметрів вогневої печі, які забезпечують мінімально можливі дисперсії температур на обігрівальній поверхні плити під час випробувань на вогнестійкість.....	77
РОЗДІЛ 5. ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ ДИСПЕРСІЇ ТЕМПЕРАТУР ПО ОБІГРІВАЛЬНІЙ ПОВЕРХНІ ГОРИЗОНТАЛЬНИХ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ НА ЗНАЧЕННЯ ЇХНЬОЇ МЕЖІ ВОГНЕСТІЙКОСТІ.....	83
5.1. Виявлення впливу залежності між значенням межі вогнестійкості горизонтальних залізобетонних будівельних конструкцій і дисперсією температур на їхніх обігрівальних поверхнях та алгоритму її визначення..	83
5.2. Рекомендації з удосконалення параметрів вогневих печей для визначення вогнестійкості горизонтальних елементів залізобетонних будівельних конструкцій.....	91
РОЗДІЛ 6. УТОЧНЕНІ РОЗРАХУНКОВІ МЕТОДИ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ МЕЖІ ВОГНЕСТІЙКОСТІ ПОПЕРЕДНЬО НАПРУЖЕНОЇ РЕБРИСТОЇ ЗАЛІЗОБЕТОННОЇ ПЛИТИ.....	92
6.1. Засоби вогневих випробувань ребристої попередньо напруженої залізобетонної плити.....	92
6.2. Результати випробувань на вогнестійкість попередньо напруженої ребристої залізобетонної плити.....	93
6.3. Результати визначення теплофізичних характеристик бетону експериментально-розрахунковим методом.....	96
6.4. Результати визначення механічних властивостей бетону при високих температурах експериментально-розрахунковим методом.....	96
6.5. Результати уточненого розрахунку межі вогнестійкості попередньо напруженої ребристої залізобетонної плити.....	98
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	110

Наукове видання

ЧЕРКАСЬКИЙ ІНСТИТУТ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ  
ІМЕНІ ГЕРОЇВ ЧОРНОБИЛЯ  
НАЦІОНАЛЬНОГО УНІВЕРСИТЕТУ  
ЦИВІЛЬНОГО ЗАХИСТУ УКРАЇНИ

Нуянзін Олександр Михайлович  
Некора Ольга Валеріївна  
Поздєєв Сергій Валерійович  
Сідней Станіслав Олександрович  
Тищенко Євген Олександрович  
Шкарабура Микола Григорович

**МЕТОДИ МАТЕМАТИЧНОГО МОДЕЛЮВАННЯ ТЕПЛОВИХ  
ПРОЦЕСІВ ПРИ ВИПРОБУВАННЯХ НА ВОГНЕСТІЙКІСТЬ  
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ**

*монографія*

Підписано до друку 08.04.15. Обл.-вид. арк. 0,9.

Тираж 300 прим. Замовлення № 666

---

Віддруковано у відділі РВР ЧПБ ім. Героїв Чорнобиля НУЦЗ України  
вул. Онопрієнка, 8, м. Черкаси, 18034.