

огороджувальних будівельних конструкцій і основ промислових будинків та споруд: ДБН В.3.1-1-2002. – [Чинний від 2007-03-07] – К.: Державний комітет України з будівництва і архітектури, 2003. – 82 с. (Державні будівельні норми України). 6. Бліхарський З.Я., Хміль Р.С., Васильєв І.В. Методика виконання та експериментальні дослідження залізобетонних балок, підсилених обіймою під навантаженням // зб. наук. праць: “Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди”. – Рівне, 2007. – Вип. 15. – С.358–363. 7. Бондаренко С.В., Санжаровский Р.С. Усиление железобетонных конструкций при реконструкции зданий.– М.: Стройиздат. 1990. – 352 с.

УДК 624.012

С.В. Поздєєв, А.Д. Левченко

Академія пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля МНС України

## РОЗРОБКА УТОЧНЕНОГО РОЗРАХУНКОВОГО МЕТОДУ ДЛЯ ВИЗНАЧЕННЯ МЕЖІ ВОГНЕСТІЙКОСТІ НЕСУЧИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОНСТРУКЦІЙ

Ї Поздєєв С.В., Левченко А.Д., 2011

**Розроблено уточнений розрахунковий метод визначення меж вогнестійкості несучих залізобетонних конструкцій на основі параметрів їх напружено-деформованого стану під час пожежі, визначених методом кінцевих елементів. Визначено параметри математичних моделей, що застосовуються, за яких метод має найбільшу ефективність.**

**Ключові слова:** залізобетонні конструкції, вогнестійкість.

**The specified calculation method of determination of limits of fire-resistance of bearing reinforced concrete constructions is developed, on the basis of parameters of their tense-deformed state during a fire, certain by the finite elements method. The parameters of the used mathematical models at which a method has most efficiency are certain.**

**Key words:** reinforced concrete constructions, fire-resistance.

**Постановка проблеми.** Для визначення меж вогнестійкості несучих залізобетонних будівельних конструкцій є перспективним використання розрахункових методів на основі математичного моделювання напружено-деформованого стану їх елементів під час пожежі. Застосування методів математичного моделювання для дослідження напружено-деформованого стану елементів залізобетонних конструкцій під час пожежі пов'язане із значними труднощами внаслідок неоднорідності й нелінійності властивостей залізобетону. Цю проблему розглядають численні публікації [1], але, аналізуючи наукові дослідження у цьому напрямі, слід зазначити те, що сьогодні не існує чітких упорядкованих методик для цих методів, а також підходи таких методів не враховують технологічних та експлуатаційних аспектів конкретних залізобетонних конструкцій. Ці обставини обмежують використання розрахункових методів і як остаточних для атестації залізобетонних конструкцій за їхньою вогнестійкістю. Додатковою обставиною, що показує актуальність розроблення та удосконалення таких методів, є недостатність випробувальної бази в Україні, а також трудомісткість та висока вартість випробувань на вогнестійкість.

**Аналіз останніх досягнень і публікацій.** Під час розроблення уточнених розрахункових методів важливим є питання коректного визначення властивостей матеріалів. Сучасні норми багатьох країн, таких як країни Євросоюзу та Російська Федерація, поряд із спрощеними методами, що ґрунтуються на інженерних методиках розрахунку опору матеріалів, рекомендують застосування уточнених розрахункових методів, які ґрунтуються на застосуванні положень теорії

пружності, теорії пластичності та теорії руйнації. Тим не менше, у цих нормах немає чітких рекомендацій щодо вибору базових математичних моделей поведінки залізобетону та численної реалізації рівнянь напружено-деформованого стану (НДС). Крім того, у нормативних документах, наприклад [2, 3], дано чіткі математичні моделі властивостей матеріалів, що зумовлює необхідність їхнього застосування для розрахунків меж вогнестійкості залізобетонних конструкцій під час проектування будівель та споруд на практиці, але ці моделі не враховують технологічних та експлуатаційних особливостей матеріалів та конструкцій.

У зв'язку із викладеним поставлено **мету**, що полягає у розробленні загальних положень та основних методик уточненого розрахункового методу визначення меж вогнестійкості несучих залізобетонних будівельних конструкцій.

**Виклад основного матеріалу.** На основі аналізу моделей силового опору елементів залізобетонних конструкцій за механічних та температурних навантажень, які, наприклад, подані у [4], ми запропонували узагальнений інженерний підхід до чисельної реалізації уточненого розрахункового методу щодо визначення меж вогнестійкості елементів несучих залізобетонних конструкцій за їхньої роботи в умовах вогневого впливу «стандартної» пожежі. Розроблений комплекс методик та процедур, необхідних для здійснення розробленого уточненого розрахункового методу визначення меж вогнестійкості несучих залізобетонних конструкцій, подано у вигляді структурної схеми на рис. 1.

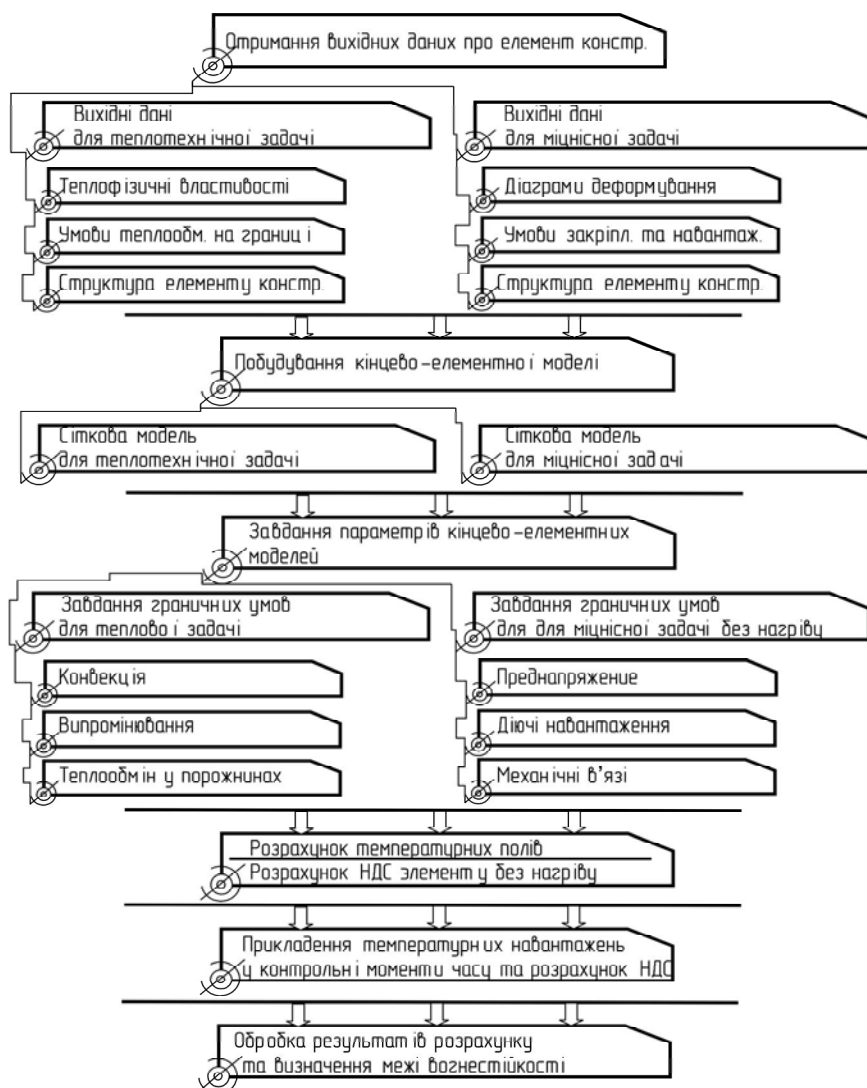


Рис. 1. Загальна структурна схема уточненого розрахункового методу визначення вогнестійкості сталі несучих залізобетонних конструкцій

Під час визначення комплексу теплофізичних і механічних властивостей бетону й арматурної сталі пропонується експериментально-розрахунковий метод, структурну схему якого показано на рис. 2. Згідно з цією схемою визначення параметрів температурних залежностей теплофізичних та механічних властивостей матеріалів відбувається за допомогою розв'язання обернених задач ідентифікації на основі результатів лабораторних випробувань, що розв'язуються за допомогою численних оптимізаційних методів мінімізації квадратичної незв'язності [5].



Рис. 2. Структурна схема експериментально-розрахункового методу визначення комплексу теплофізичних і механічних властивостей бетону і арматурної сталі

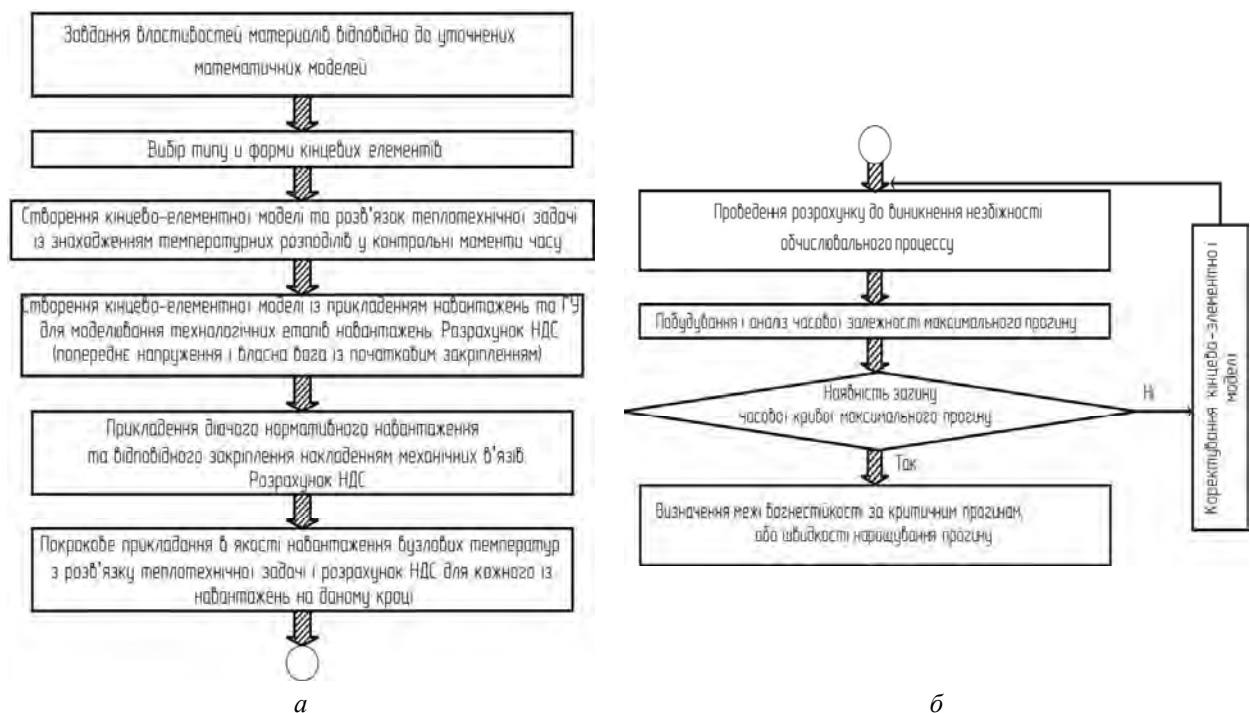


Рис. 3. Структурна схема розрахунку напружено-деформованого стану елемента конструкції під час пожежі (а) і алгоритм визначення межі вогнестійкості за отриманими даними (б)

Для знаходження межі вогнестійкості за несучою здатністю необхідний розрахунок НДС елемента залізобетонної конструкції у контрольні моменти часу розвитку пожежі, що визначаються

кожної 1 хв [6]. За реалізації розрахунку рекомендується використовувати одну з комп'ютерних кінцево-елементних систем [4]. Під час визначення межі вогнестійкості рекомендується використовувати розроблену методику, алгоритм якої показано на рис. 3.

Для визначення меж вогнестійкості за отриманими розрахунковими даними про НДС елементів залізобетонних конструкцій необхідно мати певний комплекс його параметрів, що дасть змогу це зробити. У табл. 1 подано структуру даних про НДС елементів під час пожежі для реалізації розробленої методики визначення межі вогнестійкості під час застосування уточненого розрахункового методу.

Таблиця 1

### Структура розрахункових даних для визначення межі вогнестійкості

| Визначувані дані   | Необхідні результати розрахунку  |
|--|--|
| Сценарій і причини руйнування елемента несучої залізобетонної конструкції під час пожежі | Розподіл пружних, пластичних, температурних відносних деформацій і напружень. Розподіл дефектів по об'єму елемента                           |
| Межа вогнестійкості  | Часова залежність пружних, пластичних, температурних відносних деформацій і напружень, а також максимальних глобальних переміщень (прогинів) |

Таблиця 2

### Граничні умови кінцево-елементних моделей

| Особливість елемента конструкції  | Тип граничних умов для врахування цієї особливості                               |
|---|--|
| Теплотехнічна задача  |  |
| Кількість і розташування поверхонь, що обігріваються і не обігріваються | Конвекційно-радіаційний теплообмін з середовищем пожежі і середовищем без пожежі |
| Наявність і розташування порожнин                                       | Радіаційний теплообмін між поверхнями порожнини                                  |
| Симетрія  | Симетричний теплообмін   |
| Міцнісна задача   |  |
| Наявність попереднього напруження                                       | Прикладання спеціальних типів зусиль   |
| Вид механічного навантаження, що прикладається                          | Прикладання спеціальних типів зусиль   |
| Умови закріплення   | Прикладання типових механічних зв'язків  |
| Поверхні, що труться  | Завдання контактних поверхонь тертя  |
| Технологічна спадковість  | Прикладання навантажень відповідно до технологічної історії навантаження         |

Таблиця 3

### Врахування особливостей структури елементів конструкцій у кінцево-елементних моделях

| Особливість елемента конструкції  | Спосіб врахування структурної особливості під час моделювання  |
|---|--|
| Теплотехнічна задача  |  |
| Наявність і розташування теплоізоляційних і звукоізоляційних матеріалів | Задання областей з різними теплофізичними характеристиками (ТФХ) матеріалів  |
| Наявність і розташування вогнезахисту                                   | Задання областей з різними ТФХ матеріалів  |
| Симетрія  | Часткове задання розрахункових областей  |
| Міцнісна задача   |  |
| Тип і розташування робочої арматури.                                    | Задання стрижневими кінцевими елементами (КЕ) або відповідної ортотропії КЕ, що моделюють бетон                                |
| Наявність монтажної арматури  | Не враховується або враховується під час введення відповідної ортотропії КЕ, що моделюють бетон                                |
| Симетрія, або періодичність профілю                                     | Розгляд розрахункової області елемента в межах зони симетрії або періоду профілю з накладанням відповідних механічних зв'язків |

Застосування розробленого уточненого розрахункового методу визначення меж вогнестійкості несучих залізобетонних конструкцій вимагає проведення оцінки якості кінцево-елементних моделей для розв'язання теплотехнічної та міцнісної задач, а також верифікації результатів розрахунку. У табл. 2 та 3 подані основні параметри кінцево-елементних моделей, що визначають їхню якість та повинні контролюватись у процесі підготовки задач до їх розв'язання.

У табл. 4 подано основні особливості отриманих розрахункових даних, за якими може бути проконтрольована їхня якість.

Таблиця 4

#### Методи верифікації результатів розрахунку

| Параметр, за яким проводиться верифікація  | Спосіб проведення верифікації   |
|--|---|
| Час досягнення в арматурі елементів, що згинаються, критичної температури (~ 500 °С) | Порівняння часу досягнення критичної температури в арматурі і межі вогнестійкості (повинні мати близькі значення з відх. 10 – 15 хв)                              |
| Межа вогнестійкості, отримана одним із спрощених методів                             | Порівняння меж вогнестійкості, отриманої різними спрощеними методами (повинні мати близькі значення з відх. 10 – 20 %)  |
| Виникнення пластичних деформацій в бетоні  | Порівняння рівнів навантажень, досягши перших пластичних деформацій в бетоні, з результатами спрощеного розрахунку для цього граничного стану (відх. 5 – 10 %)    |
| Виникнення перших тріщин у розтягнутих шарах бетону                                  | Порівняння рівнів навантажень, досягши перших пошкоджень в бетоні, з результатами спрощеного розрахунку для цього граничного стану (відх. 5 – 10 %)               |
| Величина відносних температурних деформацій в бетоні і арматурі для цієї температури | Перевірка відповідності величин температурної деформації бетону і арматури законам температурних деформацій, встановлених для заданого матеріалу (відх. 5 – 10 %) |

Застосування уточненого розрахункового методу щодо визначення меж вогнестійкості елементів несучих залізобетонних конструкцій з використанням комп'ютерної системи ANSYS, для яких відомі результати випробувань [7], дало змогу отримати значення меж вогнестійкості у межах 8 % і абсолютне відхилення у середньому 5 – 8 хв, що доводить їх високу точність.

#### Висновки:

1. У результаті проведених досліджень узагальнено інженерний підхід до чисельної реалізації уточненого розрахункового методу щодо визначення меж вогнестійкості елементів несучих залізобетонних конструкцій під час їхньої роботи в умовах вогневого впливу «стандартної» пожежі, на основі чого розроблений уточнений розрахунковий метод.
2. Розроблено узагальнену схему та методики отримання комплексу властивостей бетону і арматурної сталі за допомогою експериментально-розрахункового методу.
3. Розроблено методику визначення межі вогнестійкості за отриманими розрахунковими даними напружено-деформованого стану елементів залізобетонних конструкцій в умовах пожежі.
4. Розроблено методику побудови кінцево-елементних моделей елементів залізобетонних конструкцій для розрахунку їх напружено-деформованого стану під час пожежі.
5. Розроблено методику верифікації результатів розрахунку меж вогнестійкості елементів несучих залізобетонних конструкцій.

1. Мосалков И.Л. *Огнестойкость строительных конструкций* / И.Л. Мосалков, Г.Ф. Плюснина, А.Ю. Фролов. – М.: ЗАО «СПЕЦТЕХНИКА», 2001. – 496 с. 2. *Правила по обеспечению огнестойкости и огнесохранности железобетонных конструкций. СТО 36554501-006-2006 – [Введен в действие 1996-01-01]* – М., 2006. – 77 с. – (Национальный стандарт РФ). 3. *EN 1992-1-2:2004 Eurocode 2: Design of concrete structures Part 1-2: General rules – Structural fire design*, Brussels, 2004. 4. Клованич С.Ф. *Метод конечных элементов в механике железобетона:*

[монографія] / С.Ф. Клованич, И.Н. Мироненко. – Одесса: ОНМУ, 2007. – 110 с. 5. Круковский П.Г. Обратные задачи тепломассопереноса (Общий инженерный подход) / П.Г. Круковский. – К.: НАНУ, Институт технической теплофизики, 1998. – 224 с. 6. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги. Пожежна безпека. (ISO 834: 1975) ДСТУ Б В.1.1-4-98. [Чинний від 1998-10-28.] – К.: Укрархбудінформ, 2005. – 20 с – (Національний стандарт України). 7. Милованов А.Ф. Огнестойкость железобетонных конструкций / А.Ф. Милованов. – М.: Стройиздат, 1986. – 224 с.