

УДК 624.012

С.В. Поздєєв, д.т.н., доц., В.К. Словінський, С.Д. Щіпець
Академія пожежної безпеки імені Героїв Чорнобиля

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-РОЗРАХУНКОВИЙ МЕТОД ОЦІНКИ ВОГНЕСТІЙКОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОЛОН НА ОСНОВІ ЇХ ВОГНЕВИХ ВИПРОБУВАНЬ

У статті запропонований метод оцінки меж вогнестійкості залізобетонних колон на основі спрощених вогневих випробувань без прикладання механічного навантаження із застосуванням розрахункового методу.

Ключові слова: випробування на вогнестійкість, вогнева піч, залізобетонна колона, експериментально-розрахунковий метод.

Постановка проблеми. Для зменшення ризику значних соціально-економічних втрат під час пожеж в будівлях і спорудах існує необхідність забезпечення надійної роботи залізобетонних колон за умов температурного режиму пожежі, тобто гарантування їх відповідності існуючим нормативно-технічним нормам, які регламентують межі їх вогнестійкості [1]. При визначенні фактичних меж вогнестійкості вважається найбільш надійнішим і достовірним метод натурних вогневих випробувань [2, 3]. Метод вогневих випробувань полягає в нагріві натурального зразка, який повністю або частково відповідає реальному елементу залізобетонної конструкції в спеціальній вогневій печі при температурному режимі, який визначений в нормативах [2, 3] і називається стандартною температурною кривою пожеж, і з прикладенням відповідного механічного навантаження. Випробування проводяться протягом часу, який визначений необхідною межею вогнестійкості, або до настання одного з граничних станів, в даному випадку втрати несучої здатності колони.

Аналіз останніх досягнень і публікацій. Випробування залізобетонних колон на вогнестійкість відбувається у відповідності до чинних стандартів України [1, 2]. Згідно із цими стандартами колона повинна бути піддана вогневій дії в умовах навантаження колони силовими факторами, що повністю відповідають діючому навантаженню у колоні згідно із розрахунковою схемою конструкції будівлі. Такі чинники створюються відповідними вузлами випробувальних установок, які поєднують вогневу піч із опорно-навантажувальним пристроєм. Вогнева піч має вогнетривке огороження, конфігурацію, що забезпечує рівномірний обігрів елементу конструкції, а також паливно-форсункову систему на рідкому паливі, що забезпечує стандартний температурний режим пожежі. Механічне навантаження створюється за допомогою гідравлічного пресу, що має забезпечити стискальну силу до 500 т.

При реалізації таких умов виникають певні технічні складності, які полягають у невідповідності умов закріплення і навантаження колони у конструкції, невідповідності габаритних розмірів зразка для випробувань і реальної колони і т.д. Тому стандартом на випробування колон на вогнестійкість [2] не забороняються випробування без прикладання механічних навантажень, але в той же час означений стандарт не дає будь-яким чином обґрунтованої методики визначення межі вогнестійкості залізобетонних колон на основі таких випробувань.

У той же час вогневі випробування колон мають обмеження на довжину випробовуваних колон, спосіб їх закріплення, тип і величину механічного навантаження на колону.

Аналіз публікацій щодо розрахункових методів проектування залізобетонних колон за умовою їх пожежної безпеки [1 – 4] показує що означені методи дають змогу комплексно врахувати всі перелічені особливості

У зв'язку з цим сформульована мета дослідження.

Постановка задачі та її розв'язання. Мета роботи полягає у створенні методу оцінки вогнестійкості залізобетонних колон прямокутного перерізу на основі розрахункової інтерпретації результатів їх вогневих випробувань із залученням математичних моделей напружено-деформованого стану.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити задачу відновлення температурних полів у перерізі колони за результатами точкового вимірювання температури у її внутрішніх шарах. Аналіз температурних полів, що утворюється у результаті впливу пожежі показують, що вони добре можуть бути описані параболічними залежностями. Для їх описання необхідно як мінімум три точкових вимірювання. Після попереднього аналізу розроблена схема вимірювання, яка подана на рис. 1.

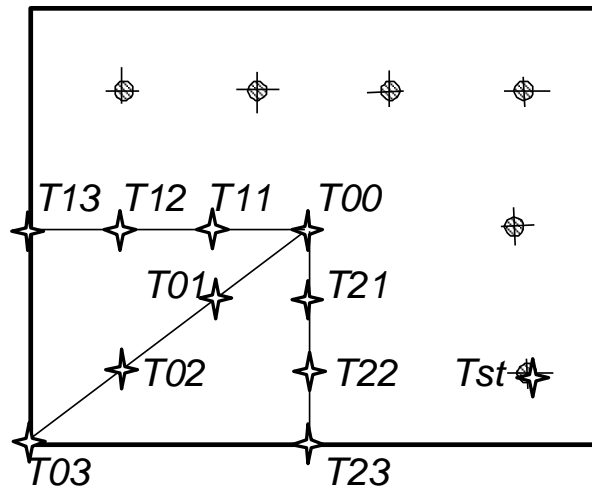


Рисунок 1 – Положення термодпар при випробуваннях залізобетонної колони для реалізації розробленого методу оцінки вогнестійкості.

Використовуючи дані розрахунків температурних полів у перерізі залізобетонної колони нами був визначене математичне описання у параметричній формі типового температурного поля. Варіюючи параметри, підбирається його така форма, щоб досягнути мінімуму середньоквадратичного відхилення. На рис. 2 подані результати інтерполяції температур у вузлових точках перерізу колони за допомогою розробленого алгоритма.

Для оцінки адекватності отриманих даних нами був здійснений аналіз, заснований на порівнянні результатів розрахунку температурних полів у перерізі колони із застосуванням чисельного рішення рівняння теплопровідності з граничними умовами III роду за умов зовнішньої температури, що змінюється за стандартним температурним режимом пожежі. Після розрахунку бралися відповідні значення температур у контрольних точках. Після цього проводилася інтерполяція за вищевикладеним алгоритмом, а потім отримані температури у результаті інтерполяції порівнювалися із точними розрахунковими значеннями температур.

Порівняльний аналіз показує, що отримані результати шляхом інтерполяції є адекватними, оскільки максимальне відхилення складає всього 15 °С, а середньоквадратичне відхилення не перевищує 4 °С.

Іншою задачею є отримання значення межі вогнестійкості у результаті аналізу напружено-деформованого стану у поточний момент часу випробування і фіксування настання стану втрати несучої спроможності. Для її рішення нами був вибраний альтернативний розрахунковий метод, який поданий у додатку В2 стандарту [4]. Даний метод заснований на використанні деформаційної моделі, що дозволяє у кожний поточний момент часу визначати ейлерову критичну силу за рахунок статичного розрахунку при збільшенні кривизни колони.

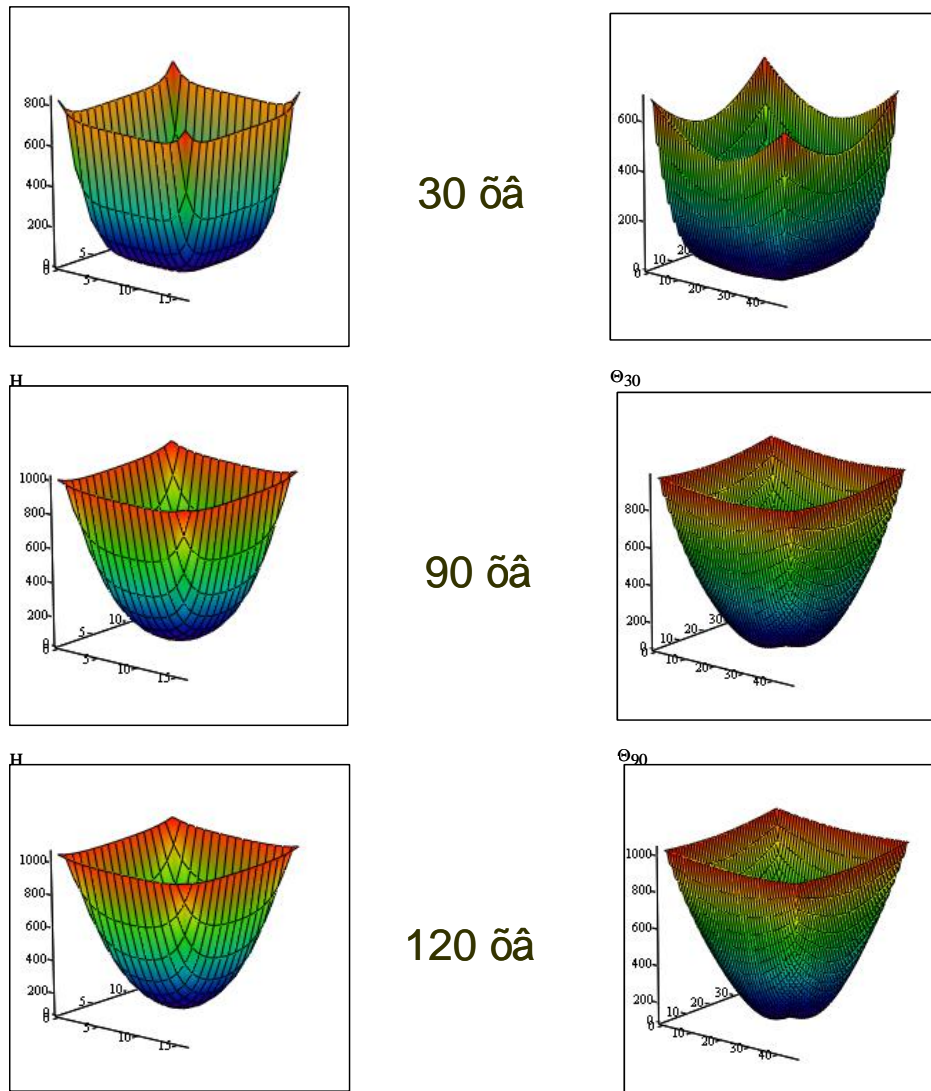


Рисунок 2 – Результати інтерполяції температурних полів за значеннями температур контрольних точок вимірювання.

Для визначення силових факторів для поточного значення кривизни застосовується деформаційна модель у вигляді [4]:

$$\begin{cases} \sum_i \sigma_{bi} A_{bi} Y_{bi} + \sum_j \sigma_{sj} A_{sj} Y_{sj} = M \\ \sum_i \sigma_{bi} A_{bi} + \sum_j \sigma_{sj} A_{sj} = N \end{cases}, \quad (1)$$

де M, N – зовнішні головні момент і поздовжня сила відповідно,

$A_{bi}, Y_{bi}, \sigma_{bi}$ — площа, координати центру тяжіння i -ї ділянки бетону і напруження на рівні його центру тяжіння;

$A_{sj}, Y_{sj}, \sigma_{sj}$ — площа, координати центру тяжіння i -го стержня арматури і напруження у ньому.

Напруження у ділянках бетону і арматурної сталі визначаються з як функції крайових деформацій та кривизни колони за виразами:

$$\sigma_{bi} = f_1(\varepsilon_{bi}), \sigma_{sj} = f_2(\varepsilon_{sj}), \varepsilon_{bi} = \varepsilon_0 + \frac{1}{r} Y_{bi}, \varepsilon_{sj} = \varepsilon_0 + \frac{1}{r} Y_{sj}, \quad (2)$$

де ε_0 – відносна деформація крайової точки перерізу у напрямку найменшого моменту інерції;

$1/r$ – кривизна колони.

Значення критичної сили вважається максимальним значенням поздовжньої сили, що може витримати колона, і називється її несучою спроможністю. Дана сила визначається за напруженнями, що визначаються за деформаціями у перерізі, отриманими за поточною кривизною колони. Напруження визначаються за допомогою повних діаграм для бетону та арматурної сталі для певних температур. На рис. 3 подані діаграми деформування бетону а на рис. 4 – арматурної сталі.

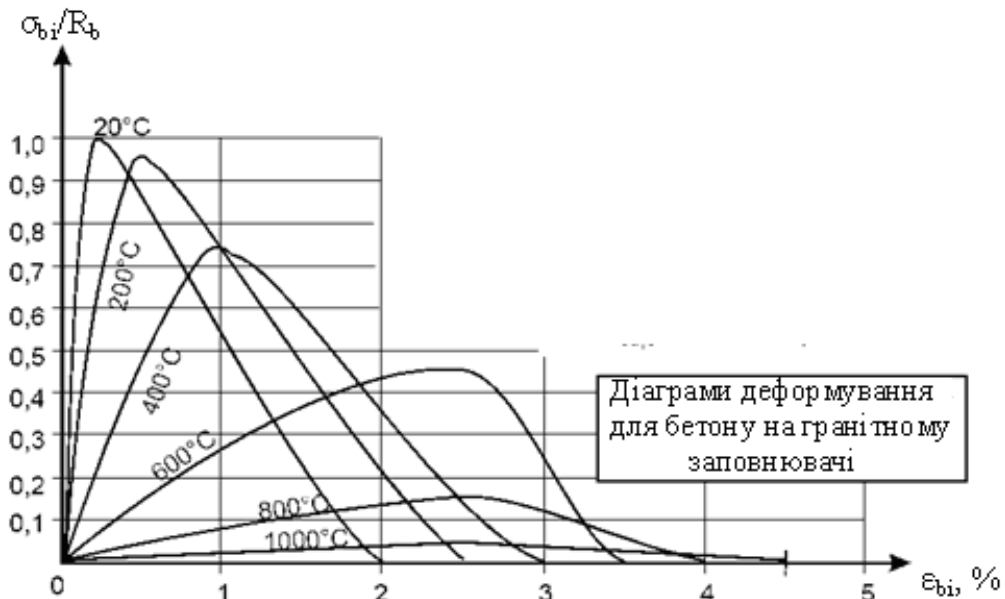


Рисунок 3 – Діаграми деформування бетону для певних температур нагріву.

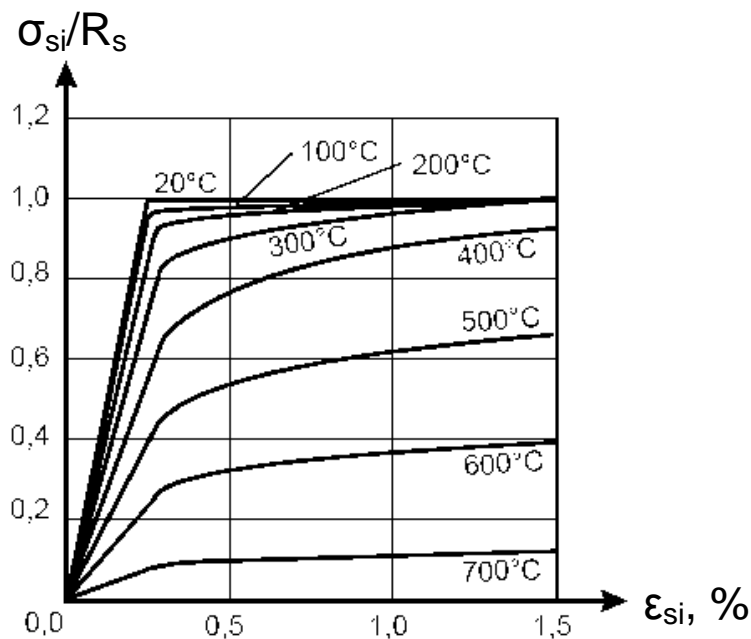


Рисунок 4 – Діаграми деформування арматурної сталі для певних температур нагріву.

Для визначення межі вогнестійкості був використаний алгоритм, який поданий на рис. 5 у вигляді блок-схеми.

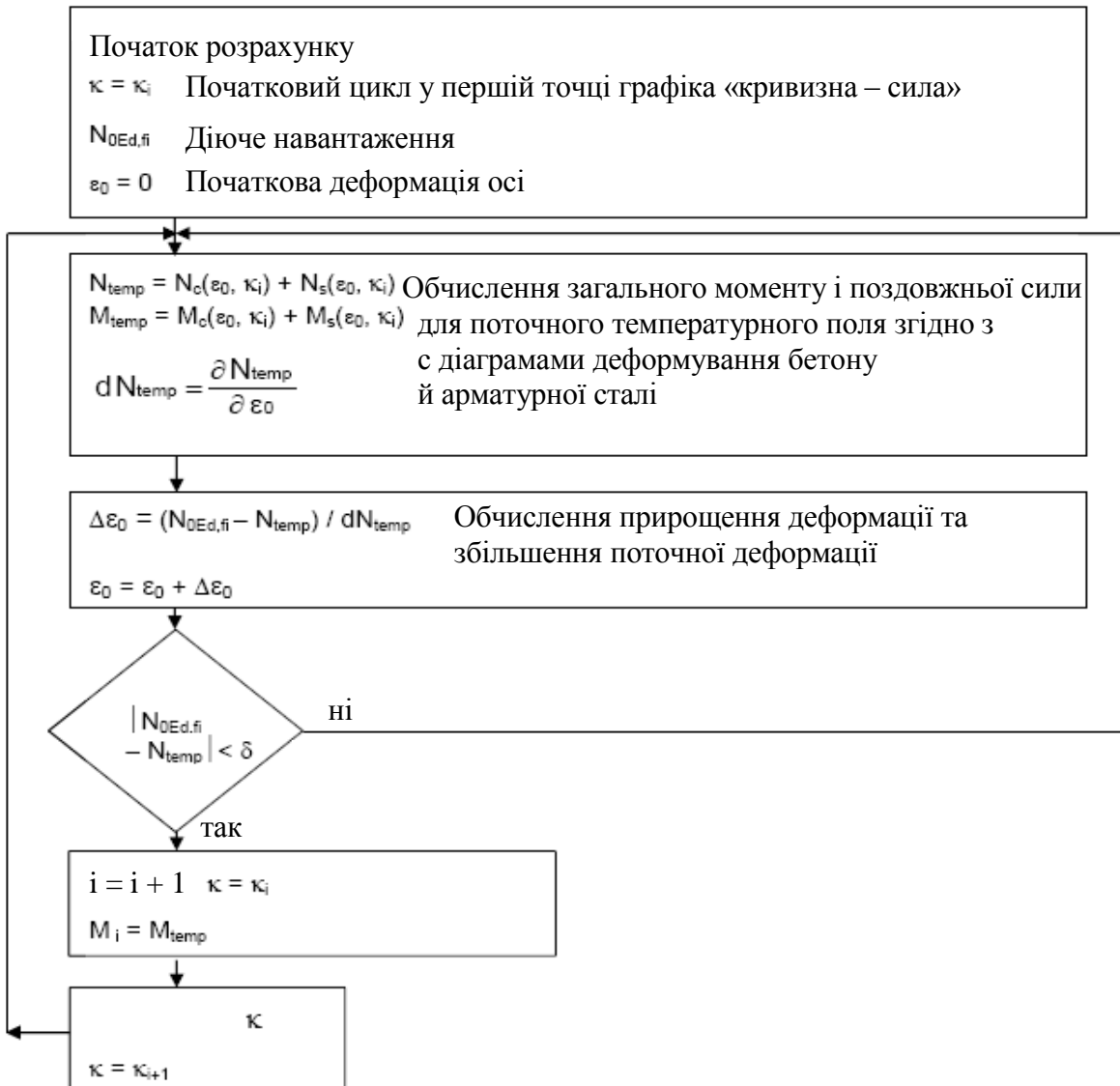


Рисунок 5 – Алгоритм визначення межі вогнестійкості залізобетонної колони за деформаційною моделлю.

Даний алгоритм був реалізований у вигляді програмного забезпечення для визначення межі вогнестійкості залізобетонних колон за результатами їх вогневих випробувань без механічного навантаження.

Для дослідження адекватності був проведений розрахунок за розробленим алгоритмом з використанням експериментальних даних з монографії [5] про температури, параметри напружено-деформованого стану та межі вогнестійкості випробуваних залізобетонних колон. Порівняльні дані результатів розрахунку і експерименту показані в табл. 1.

Аналізуючи дані табл. 1 можна побачити, що отримані результати є адекватними, оскільки похибка отриманих даних не перевищує 10 %.

Таблиця 1 – Дані аналізу адекватності результатів розрахунку за розробленим методом

Захисний шар бетону, мм	Дані щодо бетону		Дані щодо арматури		Стиральна сила, т	Відхилення температури середини колони, %	Межа вогнестійкості, отримана експериментально, хв	Розрахункова межа вогнестійкості, хв	Відносне відхилення, %	Середнє відхилення, %
	Тип	Клас міцності	Клас міцності	Діаметр, мм						
35	0	C20/25	A400	18	82	7	89	72	19	8.54
35	0	C20/25	A400	25	100	8	107	95	11.2	
36	1	C30/35	A400	12	75	7	85	91	6.6	
36.5	1	C35/45	A400	12	79	5	95	93	3.2	
36	1	C60/75	A400	12	100	6	110	113	2.7	

Висновки.

1. Удоскоплений метод вогневих випробувань залізобетонних колон шляхом спрощення умов експерименту.
2. Розроблений метод інтерполяції температурних полів по перерізу залізобетонних колон за результатами їх вогневих випробувань.
3. Розроблений метод визначення межі вогнестійкості залізобетонних колон за результатами вогневих випробувань.
4. Показано, що результати, які отримані за допомогою розробленого методу є адекватними, оскільки похибка не перевищує 10 %.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. ДБН В.1.1-7-2002 Захист від пожежі. Пожежна безпека об'єктів будівництва.
2. ДСТУ Б В.1.1-14-98. Захист від пожежі. Колони. Метод випробування на вогнестійкість. – К.: Укрархбудінформ, 2005.
3. ДСТУ Б В.1.1-4-98. Будівельні конструкції. Методи випробувань на вогнестійкість. Загальні вимоги. Пожежна безпека. – К.: Укрархбудінформ, 2005.
4. ГОСТ 30247.0-94. Конструкции строительные. Методы испытаний на огнестойкость. – 2000.
4. EN 1992-1-2:2004 Eurocode 2: Design of concrete structures Part 1-2: General rules - Structural fire design, Brussels, 2004.
5. Милованов А.Ф. Огнестойкость железобетонных конструкций / Милованов А.Ф. – М.: Стройиздат, 1986. – 224 с.