

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ВИПРОБУВАНЬ АЛИШКОВОЇ НЕСУЧОЇ ЗДАТНОСТІ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ КОЛОН ПІСЛЯ ПОЖЕЖІ

С.В. Поздєєв, Б.Б. Григор'ян, А.В. Поздєєв
(Черкаський інститут пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля)

У статті розглянуто удосконалену методику випробувань залишкової несучої здатності залізобетонних колон після пожежі.

пожежа, залізобетонна колона, залишкова несуча здатність

Вступ. В зв'язку з великим об'ємом будівництва в нашій країні, трудоемністю проведення вогневих випробувань та складністю теоретичного визначення меж вогнестійкості складних сучасних залізобетонних конструкцій існує ще багато невирішених питань в області впливу вогню на споруди та їх елементи. Існуючі лабораторії не можуть в повній мірі задовольнити вимоги сучасної практики, тому що об'єм і рівень їх досліджень не встигає за загальним завданнями будівництва. При постійно зростаючій кількості пожеж проєктувальники повинні особливо турбуватися про вибір будівельних матеріалів і планувальних рішень будівель, які б дали змогу звести до мінімуму руйнування будівельних конструкцій від пожежі, обмежити розповсюдження вогню перш за все виходячи з умов безпеки людського життя та зменшити економічні витрати [1, 3, 4].

Забезпечення необхідних меж вогнестійкості будівельних конструкцій пов'язане з удосконаленням методів розрахунку та випробувань роботи елементів у процесі нагрівання. Статистичні дані по Україні показують, що 3/4 від загальної кількості пожеж відбуваються в будинках і спорудах, виконаних із залізобетонних конструкцій [4].

Збільшення кількості пожеж, значні матеріальні збитки, що ними завдаються, відсутність достатньої випробувальної бази в Україні, довготривалість і дорожнеча вогневих випробувань залізобетонних конструкцій зумовлюють важливість задач з удосконалення методів випробувань їхньої вогнестійкості та несучої здатності після пожежі.

В зв'язку з цим була поставлена така **мета дослідження**: розробити удосконалену методику випробувань вогнестійкості стиснутих залізобетонних елементів зі зниженою трудоемністю та вартістю; розробити удо-

сконалену методику випробувань залишкової несучої здатності залізобетонних колон після пожежі.

Першою частиною розрахунку вогнестійкості є вирішення теплотехнічної задачі для визначення температурних полів у перерізі стиснутого елемента в умовах пожежі, яке ґрунтується на рішенні рівняння теплопровідності Фур'є у вигляді:

$$\frac{\partial t}{\partial \tau} \rho c(t) = \left(\frac{\partial}{\partial x} + \frac{\partial}{\partial y} \right) \left[\lambda(t) \left(\frac{\partial t}{\partial x} + \frac{\partial t}{\partial y} \right) \right].$$

Тепловий процес нагріву та остигання залізобетонних елементів є нестационарним і для рівняння Фур'є застосовуються граничні умови III роду [1, 3]:

$$-\lambda(t) \frac{\partial t}{\partial x} \Big|_w = \alpha(t) (t_{\text{ext}} - t).$$

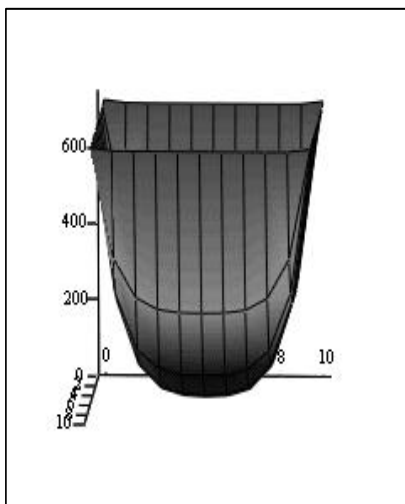
Крім того, коефіцієнт теплопровідності λ та питома теплоємність c бетону є суттєво залежними від температури, тому рівняння Фур'є буде нелінійним. Такі задачі, як правило, математично некоректні (тобто не мають аналітичного розв'язку) і потребують чисельного розв'язання. Одним з найбільш зручних для цього є чисельний метод кінцевих різниць [1, 3].

Для чисельної реалізації розрахунків з розв'язку рівняння теплопровідності Фур'є використаний метод кінцевих різниць за методом Юшкова у програмному середовищі "Mathcad 2001 Pro".

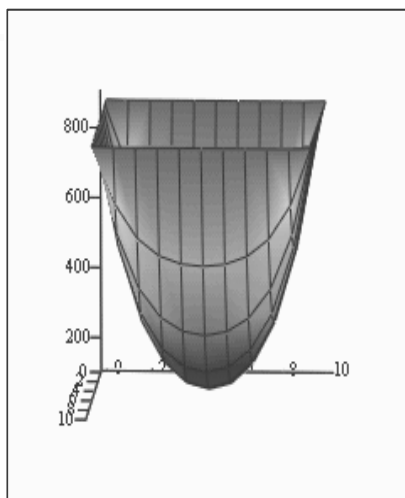
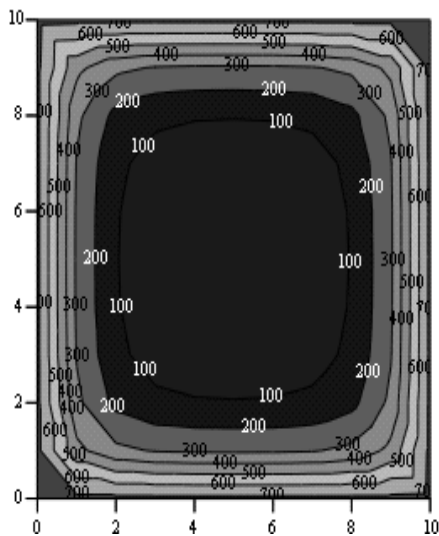
При використанні системи Mathcad та методу кінцевих різниць була створена програма для визначення температурних полів у перерізах залізобетонних колон квадратної форми. Дана програма є більш досконалою за свій відомий аналог, який розроблений у середовищі "Excel for Windows", оскільки має автоматичне коректування кроку розрахунку. Дані, отримані в результаті розрахунку, відповідають даним, отриманим за допомогою вищевказаної програми. Це підтверджує працездатність програми та достовірність отриманих даних.

З рис. 1, 2 видно, що на стадії загорання та розвитку пожежі – в інтервалі часу $\tau = 0 - 90$ хвилин відбувається нерівномірне нагрівання перерізу.

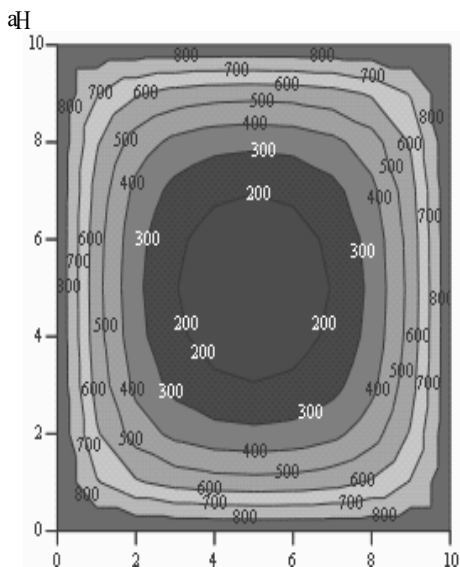
Дослідження показали, що при $\tau_{\text{max}} = 90$ хвилин, температура ребер колони досягає 800°C , температура центра перерізу – 200°C . На стадії загасання пожежі периферійні волокна перерізу знижують температуру, в той час як волокна центральної частини перерізу нагріваються далі.



Н

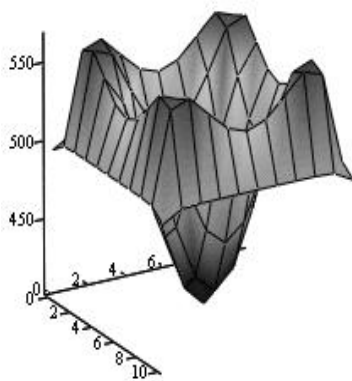


Н

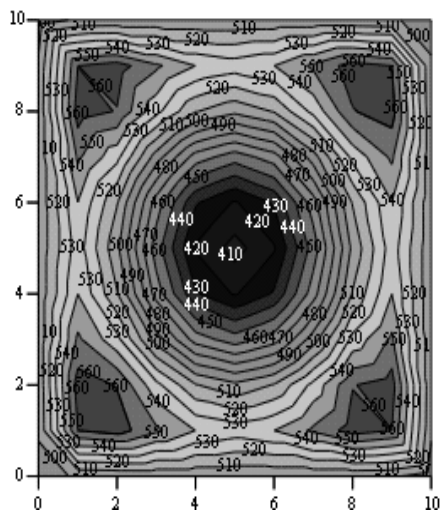


б
Н

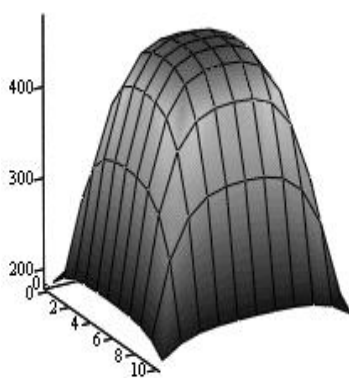
Рис. 1. Розподіл температури у перерізі залізобетонної колони стадії розвитку $i := \frac{t_{max}}{\Delta t}$ – пожежі в 1320 хв; б – на стадії найбільшого розвитку (90 хв)



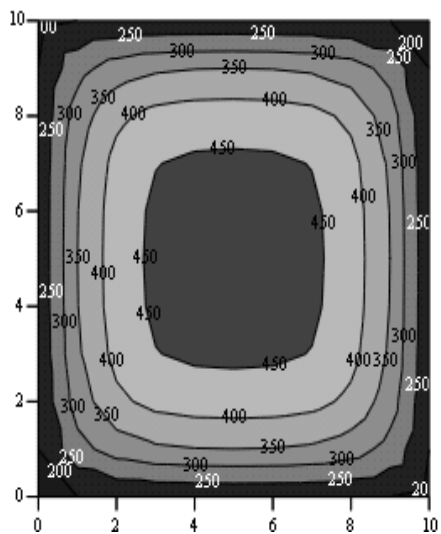
а



б



а



б

Рис. 2. Розподіл температури у перерізі залізобетонної колони стадії згасання пожежі: а – 150 хв; б – 200 хвилин

Після 30 хвилин остигання ($\tau = 120$ хв) температура ребер колони досягла $600\text{ }^{\circ}\text{C}$, температура центра перерізу піднялась до $400\text{ }^{\circ}\text{C}$. Після двох годин остигання ($\tau = 200$ хв) ребра охололи до температури $250\text{ }^{\circ}\text{C}$, а температура центра перерізу досягла $450\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Розрахунок проводився для колони з квадратним перерізом 300×300 виготовленої з важкого бетону класу В20 густиною $\rho = 2330\text{ кг/м}^3$. Розрахунок робився для режиму стандартної пожежі, розвиток якої має таку модель:

$$t_p - t_n = 345 \cdot \psi \cdot \lg(8\tau + 1),$$

а на стадії згасання

$$t_p = -600 \left(\frac{\tau}{\tau_{\max}} - 1 \right) + t_{\max}.$$

Отримані графіки показують, що динаміка зміни температури у перерізі колони має хвильову природу і дозволяє проводити розрахунки вогнестійкості під час та після гасіння пожежі.

Розрахунок міцності залізобетонних елементів за гіпотезою нормальних перерізів пропонується проводити ітераційним методом, дискретизуючи переріз при двомірному тепловому потоці у виді прямокутних елементів з урахуванням повної діаграми деформації бетону за методом, запропонованим Фомінім.

Розрахунки виконані для колони з квадратним поперечним перерізом розмірами 300×300 мм, обігріваємої з чотирьох сторін без врахування поздовжнього вигину. Колони симетрично армовані чотирма стержнями діаметром $d = 25$ мм; арматура класу А – III; нормативний опір арматурної сталі $R_s = 400$ МПа. Бетон важкий на гранітному заповнювачі; густина $\rho = 2330\text{ кг/м}^2$.

На рис. 3 подана епюра граничних напружень в перерізі колони, на стадії загасання пожежі. Таким чином, міцність у перерізі колони зменшується. Чисельні дослідження (рис. 4) показують, що несуча здатність колони під час остигання поступово знижується.

Дані, отримані в результаті розрахунку, стикуються з даними, отриманими під час розрахунку колон з аналогічними характеристиками [4]. Це вказує на придатність розробленої програми для реалізації практичних розрахунків.

Поздовжній згин враховується за методикою, заснованою на введенні спеціальних коефіцієнтів повздовжнього вигину, які визначаються виходячи з умов деформування колон, а також їх гнучкості λ . Вона дає

можливість визначити умови стійкості колони для будь-яких значень гнучкості, в тому числі значень менших за граничну гнучкість.

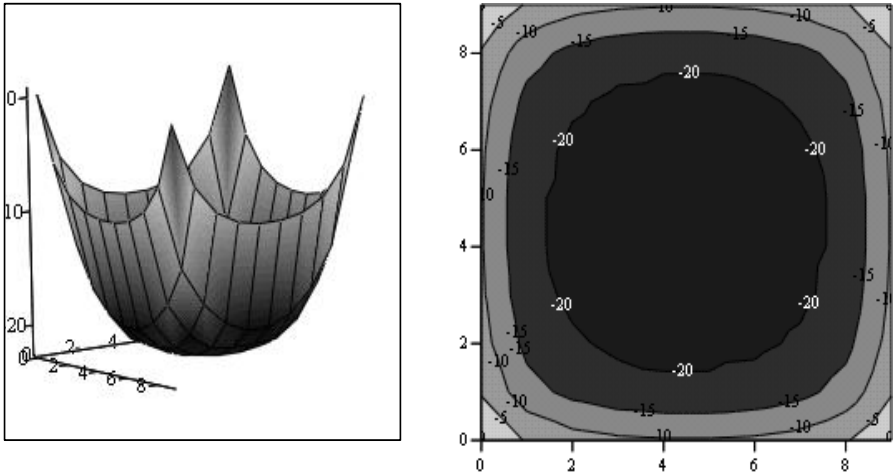


Рис. 3. Розподіл напружень в перерізі колони після 90 хв. згасання пожежі

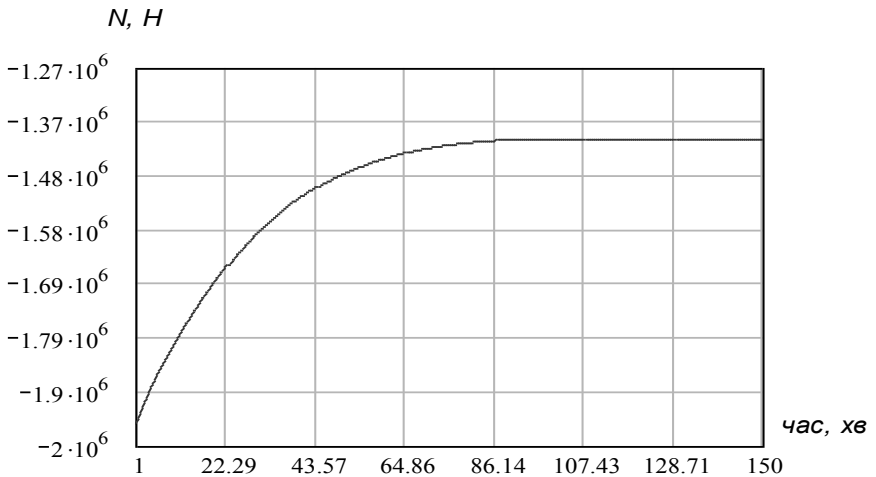


Рис. 4. Графік зміни вогнестійкості залізобетонної колони 300×300 в період згасання пожежі

У багатьох випадках ця методика реалізується за допомогою ітераційного процесу, де на кожній ітерації уточнюється значення коефіцієн-

ту повздожнього вигину. Така методика може бути реалізована тільки за допомогою складного програмного алгоритму із вводом до комп'ютера всієї таблиці значень цих коефіцієнтів, а це вносить додаткову складність у розробку цієї програми. На основі цього методу буде розподілення напружень по перерізу колони. При його використанні це розподілення є симетричним, тобто картина, яку дає нам цей метод не відповідає реальним фізичним явищам. Вільним від цих недоліків представляється метод, який запропонований Яковлевим, що ґрунтується на єдиному теоретичному підході з урахуванням ексцентриситету прикладених навантажень, значення якого регламентується будівельними нормами.

Розрахунок меж вогнестійкості колон за цим методом пов'язаний з визначенням граничних зусиль, які може сприйняти нерівномірно прогрійтий переріз бетону.

При нагріванні стиснутої конструкції арматура порівняно швидко нагрівається, але її вільне температурне розширення обмежене значно меншими деформаціями всієї конструкції. За рахунок цього в арматурі виникають значні стискаючі температурні напруження, які викликають текучість арматури вже в перші 10 – 15 хвилин нагріву.

Розрахунок вогнестійкості за удосконаленою методикою пропонується проводити таким чином: спочатку залізобетонна колона розраховується, як центрально – стиснута, після цього вводиться ексцентриситет, що вибирається виходячи з геометричних параметрів перерізу згідно з [2].

Для знаходження реальних значень напружень в умовах граничних деформацій можна скористатися методом, що враховує характер повних діаграм деформативності бетону. В результаті розв'язку рівняння рівноваги

$$\sum_j \sigma_{4j} - \frac{\sum_j \sigma_{4j} \cdot x_j}{0.5h - e - \frac{(\mu \cdot l)^2 \operatorname{tg} \alpha}{n}} = 0 \quad (1)$$

отримаємо значення $\operatorname{tg} \alpha$ (рис. 4). Після визначення $\operatorname{tg} \alpha$ визначаються всі деформації і напруження, що діють в елементах перерізу. Потім ці напруження сумуються і визначається несуча здатність колони за формулою

$$N = 2 \sum_i \sum_j \sigma_{ij} \cdot A_j, \quad (2)$$

де A_j – площа поперечного перерізу елемента.

За допомогою розробленої методики та програми розрахунку на ПК був проведений розрахунковий експеримент (рис. 5) по оцінці зміни несучої здатності залізобетонних колон при різних температурних режимах пожежі з врахуванням і стадії затухання.

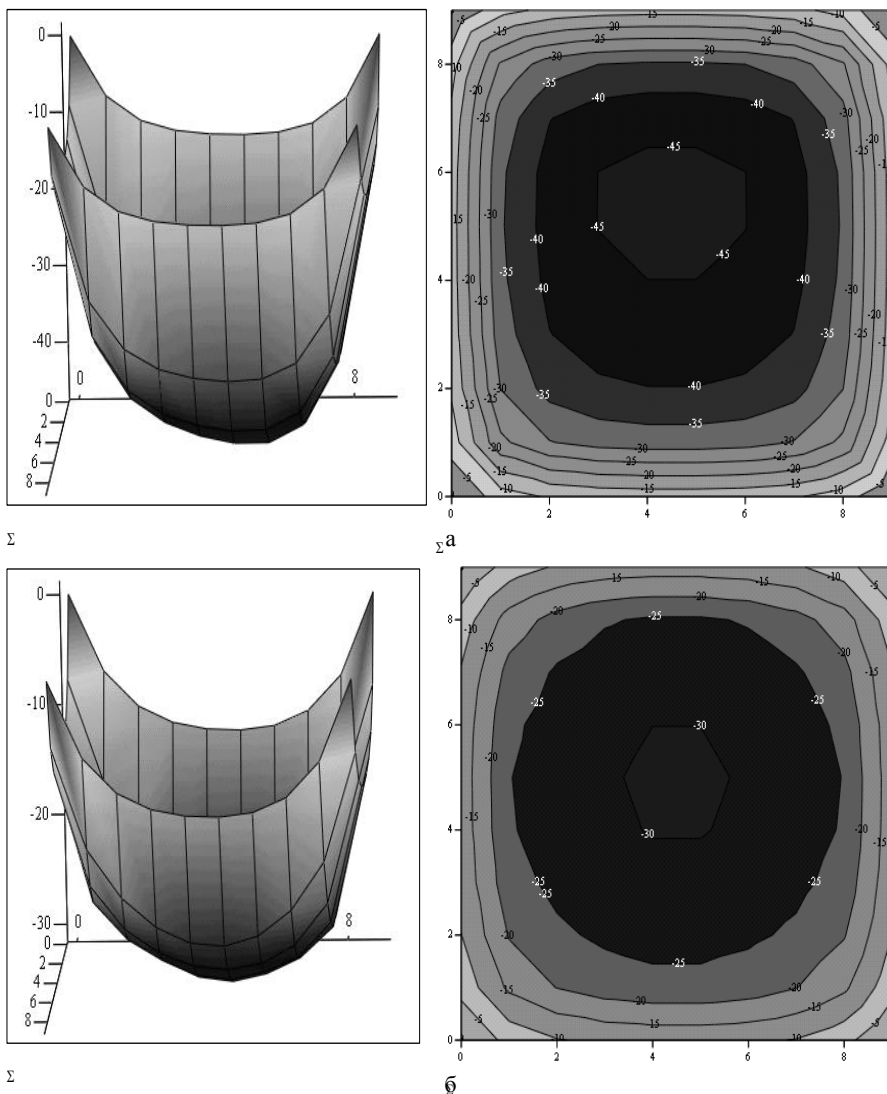


Рис. 5. Епюри граничних напружень та контурні графіки розподілу напружень перерізі колони довжиною 4 метри: а – в момент найбільшого розвину тку пожежі ($\tau = 90$ хвилин); б – після 90 хвилин згасання пожежі

Для оцінки несучої здатності без руйнації споруди, чи її елементів необхідно застосовувати методи неруйнівного контролю, такі як УЗ-аналіз, дефектоскопію, випробування за допомогою молотка Кашкарова та спеціального керна, а також застосувати візуальний аналіз з вимірюванням параметрів тріщин їх кількості глибини і форми [5]. Всі ці методи носять неточний та грубий характер. Уникнути цих недоліків дозволяє метод, який поєднує моделювання теплового впливу та механічні випробування спеціально виготовлених зразків. Розроблена методика має такі принципи:

- виготовлення зразків із видаленням якомога більшої кількості хімічно незв'язаної води;
- якомога більш точне моделювання теплових режимів, що відчують відповідні шари матеріалу при теплових режимах пожежі;
- відтворення умов термовпливу та умов навантаження елементів перерізу колони для стандартного режиму пожежі;
- обробка та інтерпретація результатів проведених випробувань за спеціально розробленими інтегральними критеріями.

Для моделювання теплових режимів необхідно врахувати окрім нелінійності коефіцієнту теплопровідності нелінійність теплоємності, пов'язану з видаленням хімічно незв'язаної води при її випаровуванні крізь пори бетону. Враховуючи це були обчислені теплові режими випробувань зразків, що подані на рис. 6.

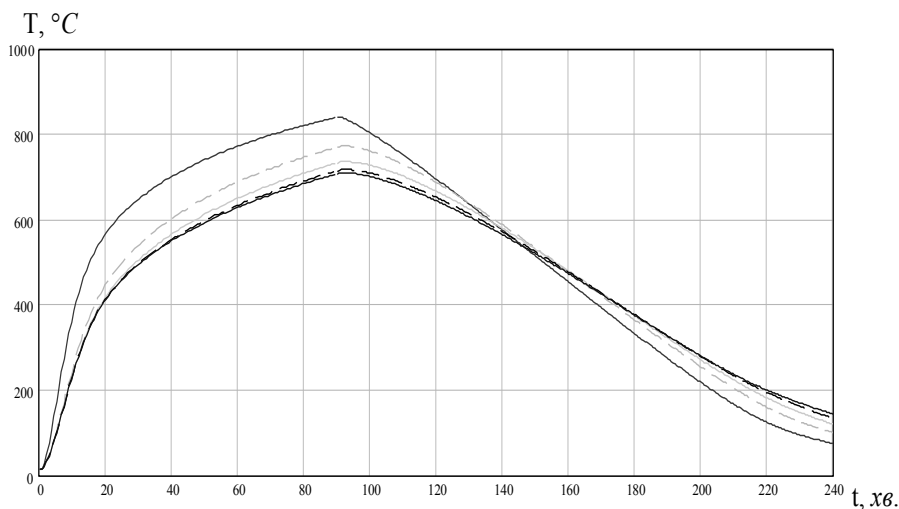


Рис. 6. Теплові режими для випробувань деяких елементів перерізу залізобетонної колони

Наступним етапом можливе проведення експерименту з випробуванням зразків на спеціальній установці, що комбінує муфельну пічку та навантажувальний пристрій.

Таким чином, можна зробити такі **основні висновки**:

- удосконалена методика розрахунку вогнестійкості стиснутих залізобетонних елементів будівельних конструкцій;
- на ПК розроблений алгоритм та програма розрахунку несучої здатності перерізів стиснутих залізобетонних колон з врахуванням поведінки вигину;
- обчислені теплові режими для випробування зразків при оцінці несучої здатності стиснутих залізобетонних елементів після пожежі;
- удосконалена методика, алгоритми розв’язання і програми на ЕОМ дозволяють підвищити точність оцінки вогнестійкості стиснутих залізобетонних конструкцій, розробити раціональні конструктивні рішення.

ЛІТЕРАТУРА

1. Яковлев А.И. Расчет огнестойкости строительных конструкций. – М.: Стройиздат, 1988. – 144 с.
2. СНиП 2.03.01-84. Бетонные и железобетонные конструкции. – М.: ЦИТП Госстроя СССР, 1985. – 16 с.
3. Фомин С.Л. Полная диаграмма “ σ - ε ” бетона и арматуры при нагреве // Коммунальное хозяйство городов. Республиканский межведомственный научно-технический сборник. – К.: Техніка. – 1997. – Вып. 8. – С. 27 – 29.
4. Григорян Б.Б. Огнестойкость сжатых железобетонных элементов при температурных режимах близких к реальным: Дисс ... канд. техн. наук. – Х., 2001.
5. ГОСТ 22690.0–77. Бетон тяжелый. Общие требования к методам определения прочности без разрушения приборами механического действия.

Надійшла 23.02.2005

Рецензент: доктор технічних наук, професор І.Г. Черванев,
Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна.
