

**МІНІСТЕРСТВО УКРАЇНИ З ПИТАНЬ НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЙ
ТА У СПРАВАХ ЗАХИСТУ НАСЕЛЕННЯ
ВІД НАСЛІДКІВ ЧОРНОБИЛЬСЬКОЇ КАТАСТРОФИ
АКАДЕМІЯ ПОЖЕЖНОЇ БЕЗПЕКИ
ІМЕНІ ГЕРОЇВ ЧОРНОБИЛЯ**

НЕКОРА ОЛЬГА ВАЛЕРІЇВНА

УДК 624.012

**РОЗРАХУНКОВО-ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИЙ МЕТОД ВИЗНАЧЕННЯ
ВОГНЕСТІЙКОСТІ СТИСНУТИХ ЕЛЕМЕНТІВ
ЗАЛІЗОБЕТОННИХ БУДІВЕЛЬНИХ КОНСТРУКЦІЙ**

21.06.02 – пожежна безпека

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Черкаси – 2008

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана в Академії пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля МНС України, м. Черкаси.

Науковий керівник – кандидат технічних наук, доцент Тищенко Олександр Михайлович,
Академія пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля МНС України, м.
Черкаси, професор кафедри пожежної безпеки та охорони праці.

Офіційні опоненти: – доктор технічних наук Басманов Олексій Євгенович, Університет
цивільного захисту України МНС України, м. Харків, головний
науковий співробітник лабораторії з дослідження проблем
моніторингу надзвичайних ситуацій;

– кандидат технічних наук Поклонський Віктор Григорович,
Державний науково-дослідний інститут будівельних конструкцій м.
Київ, завідувач лабораторії досліджень вогнестійкості будівельних
конструкцій.

Захист відбудеться « » квітня 2008 року о 14³⁰ годин на засіданні спеціалізованої вченої
ради Д 64.707.01 в Університеті цивільного захисту України за адресою: вул. Чернишевського,
94, м. Харків, 61023.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Університету цивільного захисту
України за адресою: вул. Чернишевського, 94, м. Харків, 61023.

Автореферат розісланий « » березня 2008 року

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради

І.А. Чуб

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. У зв'язку з великим обсягом будівництва в нашій країні, трудомісткістю проведення вогневих випробувань та складністю теоретичного визначення меж вогнестійкості складних сучасних залізобетонних конструкцій існує ще багато невирішених питань у галузі впливу вогню на споруди та їх елементи. Існуючі лабораторії не можуть повною мірою задовольнити потребу в експериментальних натурних випробуваннях залізобетонних конструкцій на їх вогнестійкість та залишкову несучу здатність після пожежі, особливо в тих випадках, коли конструкції є громіздкими і мають складну конфігурацію.

Згідно з багатьма розрахунковими схемами несучих конструкцій будівель та споруд, їхні стиснуті елементи є одними з найбільш відповідальних, їх руйнування часто призводить до обрушення всієї конструкції, що, у свою чергу, завдає найбільш великих матеріальних збитків. Серед існуючих підходів до розв'язання задачі визначення вогнестійкості стиснутих елементів за їх несучою здатністю в умовах пожежі перспективним є використання розрахунково-експериментальних методів. Вони мають гнучкість та універсальність розрахункових методів, а проведення лабораторних випробувань при їх невисокій вартості та трудомісткості дозволяє отримувати достовірні результати.

З огляду на вищезазначене, можна сказати, що розробка та вдосконалення розрахунково-експериментальних методів визначення вогнестійкості стиснутих елементів залізобетонних будівельних конструкцій, а також їх несучої здатності після пожежі є актуальною.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Актуальність теми дисертації підтверджується її зв'язком з виконанням робіт за такими програмами:

- 1) Концепція наукового забезпечення діяльності МНС України (2006 р.)
- 2) Програма забезпечення пожежної безпеки на період до 2010 року (Накази МНС України № 761 від 30.07.2002, № 442 від 12.07.2006).
- 3) Постанова Кабінету Міністрів України № 1764 від 20.12.2006 «Про затвердження технічного регламенту будівельних виробів будівель та споруд». Технічний регламент № 1.
- 4) Договір між Міністерством будівництва та Державним науково-дослідним інститутом будівельних конструкцій № С-10-4807/1013 від 26.03.2007 «Розроблення проекту ДБН «Основні вимоги до споруд. Пожежна безпека».

Мета і задачі дослідження. Обґрунтування розрахунково-експериментального методу для визначення вогнестійкості стиснутих елементів залізобетонних конструкцій на основі поєднання комп'ютерного моделювання та комплексних лабораторних випробувань є метою дослідження.

Для досягнення мети дослідження поставлено такі задачі:

1. Вивчення впливу структури та властивостей бетону на його поведінку в умовах високотемпературного нагріву задля обґрунтування структури, властивостей, геометричних розмірів модельних зразків для випробування.
2. Створення розрахункової та експериментальної бази для відтворення теплового впливу температурного режиму пожежі на внутрішні шари бетону при моделюванні нагріву модельних зразків.
3. Розробка експериментальних та розрахункових процедур визначення вогнестійкості стиснутих елементів на основі випробування зразків, що моделюють роботу внутрішніх шарів залізобетонних конструкцій під час пожежі та після неї.
4. Дослідження ефективності розрахунково-експериментального методу для визначення вогнестійкості залізобетонних будівельних конструкцій зі стиснутими елементами, а також формулювання умов проведення розрахунків та експериментів для досягнення його найбільшої ефективності.

Об'єктом дослідження є поведінка стиснутих елементів залізобетонних конструкцій в умовах пожежі та їх робота після пожежі.

Предметом дослідження є розрахунково-експериментальний метод визначення вогнестійкості стиснутих елементів залізобетонних конструкцій та інтерпретація результатів випробувань модельних зразків для визначення вогнестійкості залізобетонних конструкцій зі стиснутими елементами за їх несучою здатністю під час пожежі.

Методи дослідження. Для отримання зразків було використано формовання важкого бетону у вигляді циліндрів найбільш поширеного складу з гранітним заповнювачем різних фракцій. Під час комплексного дослідження теплофізичних властивостей зразків використані експериментальні методи дослідження поведінки зразків при нагріванні, методи оптичної та растрової електронної мікроскопії, методологія розв'язку обернених задач теплопровідності. Для створення розрахунково-експериментальної методики застосований метод комплексної дії нагрівання та механічного навантаження модельних зразків. Для чисельної обробки результатів та моделювання поведінки конструкцій при тепловій дії пожежі з урахуванням їх нелінійної поведінки застосований метод кінцевих різниць.

Наукова новизна одержаних результатів.

1. Уперше на основі комплексних досліджень установлений зв'язок теплофізичних та механічних властивостей із внутрішньою структурою бетонних зразків.

2. Уперше розроблений метод розрахунку і практичної реалізації теплових режимів нагріву зразків, що моделюють внутрішні шари стиснутого елементу залізобетонної конструкції при пожежі.

3. Уперше розроблений комплекс процедур комбінованих випробувань бетонних зразків та бетонних зразків з арматурою, а також здійснена інтерпретація отриманих результатів для визначення несучої здатності стиснутих елементів залізобетонних будівельних конструкцій при пожежі.

4. Уперше вивчено достовірність і точність розрахунково-експериментального методу визначення несучої здатності стиснутих елементів залізобетонних конструкцій при пожежі, а також сформульовано технічні вимоги для досягнення найбільшої ефективності цього методу.

Практичне значення одержаних результатів. Практична цінність дисертаційних досліджень полягає у розробці та дослідженні розрахунково-експериментального методу визначення вогнестійкості залізобетонних будівельних конструкцій зі стиснутими елементами, що є менш вартісним і трудомістким порівняно з натурними вогневими випробуваннями, оскільки має у 35 разів меншу приведену масу. У результаті сформульованих технічних вимог для досягнення найбільшої ефективності цього методу, на основі встановленого впливу складу та структурних властивостей на теплофізичні характеристики бетону зразків, розрахунково-експериментальний метод визначення вогнестійкості залізобетонних будівельних конструкцій із стиснутими елементами є вдвічі точнішим у порівнянні з розрахунковим методом. Це дозволяє використовувати його при розробці відповідної нормативної документації для визначення фактичного ступеня вогнестійкості стиснутих елементів залізобетонних будівельних конструкцій.

Розроблені методики впроваджені в навчальний процес Академії пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля при створенні комплексу лабораторних робіт з дисциплін «Будівлі й споруди та їх поведінка в умовах пожежі» «Пожежна профілактика в населених пунктах», апробовані на ТОВ «Завод «Буддеталь», впроваджені у виробництво ТОВ НВК «Аскенн», впроваджені при дослідженнях вогнестійкості споруд у дослідному цехові лабораторії вогнестійкості будівельних конструкцій НДІБК м. Київ, а також застосовані при розробці проекту стандарту ДСТУ-Н В.2.6 – XX: 200X «Проектування залізобетонних конструкцій. Основні положення. Вогнестійкість».

Особистий внесок здобувача.

1. У результаті комплексного дослідження одержані дані про внутрішню структуру, теплофізичні й механічні властивості бетонних зразків в умовах нагріву [1, 2, 5].

2. Розроблений комплекс розрахунково-експериментальних процедур для отримання теплових режимів комбінованих випробувань і створення умов для практичної реалізації заданого режиму прогріву бетонних зразків [2 – 4].

3. На основі комбінованих випробувань зразків, що моделюють роботу внутрішніх шарів під час пожежі та після неї, розроблений комплекс експериментальних процедур для методу визначення вогнестійкості стиснутих елементів залізобетонних будівельних конструкцій [4 – 13].

4. Розроблені розрахункові процедури інтерпретації результатів випробувань модельних зразків для визначення межі вогнестійкості залізобетонних конструкцій зі стиснутими елементами [4, 5, 9, 10].

5. Проведені дослідження точності та ефективності розрахунково-експериментального методу визначення вогнестійкості стиснутих елементів залізобетонних будівельних конструкцій порівняно з існуючими методами [4, 5].

Апробація результатів дисертації. Основні положення та результати дисертаційної роботи доповідалися на: XIX Міжнародній науковій конференції «Пожарная безопасность многофункциональных и высотных зданий и сооружений» (Росія, Балашиха, ВНДПО, 2005 р.); VII Всеукраїнській науково-практичній конференції рятувальників «Пожерна безпека та аварійно-рятувальна справа: стан, проблеми і перспективи» (Київ, УкрНДПБ, 2005 р.); 44-му, 45-му, 46-му Міжнародних семінарах з моделювання й оптимізації композитів (Одеса, ОДАБА, 2005, 2006, 2007 рр.); Науково-практичній конференції, присвяченій 10-річчю заснування Інституту підготовки і підвищення кваліфікації МНС Республіки Білорусь: «Защита от чрезвычайных ситуаций: инновации и перспективы дополнительного образования» (Білорусь, с. Светлая Роща, 2006 р.), VIII Всеукраїнській науково-практичній конференції рятувальників «Проблеми зниження ризику виникнення надзвичайних ситуацій в Україні» (Київ, УкрНДПБ, 2006 р.); IV Міжнародній науково-практичній конференції «Чрезвычайные ситуации: предупреждение и ликвидация» (Білорусь, Мінськ, КП, 2007 р.); XX Міжнародній науково-практичній конференції «Исторические и современные аспекты решения проблем горения, тушения и обеспечения безопасности людей при пожарах» (Росія, Балашиха, ВНДПО, 2007 р.); VIII Всеукраїнській науково-практичній конференції «Пожерна безпека – 2007» (Черкаси, АПБ, 2007 р.)

Публікації. За матеріалами дисертаційної роботи опубліковано 15 робіт, з яких 5 статей у провідних фахових виданнях та 10 тез доповідей на конференціях.

Експериментальна частина роботи виконувалася в навчально-випробувальній лабораторії будівельних конструкцій та матеріалів Академії пожежної безпеки ім. Героїв Чорнобиля та міжкафедральній лабораторії матеріалознавства Черкаського державного технологічного університету.

Структура та обсяг роботи. Дисертація складається зі вступу, 5 розділів, висновків, списку літератури. Загальний обсяг дисертації становить 147 стор., робота містить 68 рисунків, 23 таблиці, 1 додаток.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Розділ I. Особливості визначення вогнестійкості стиснутих елементів залізобетонних будівельних конструкцій. Зроблено огляд робіт вітчизняних та закордонних авторів, що присвячені дослідженням поведінки стиснутих елементів залізобетонних конструкцій.

Аналіз праць таких авторів, як Яковлев О.І., Ройтман М.Я., Ройтман В.М., Бушев В.П., Мілованов О.Ф., Фомін С.Л., Страхов В.Л., Григор'ян Б.Б. та ін., а також нормативної документації України та інших держав показав, що для визначення вогнестійкості будівельних конструкцій пріоритетними є натурні експериментальні випробування. Разом із тим їх застосування має обмеження, зумовлені високою вартістю, трудомісткістю та складністю проведення експериментів. Крім того, наявні в Україні лабораторії не забезпечують потреб будівельної промисловості у зв'язку з інтенсифікацією будівництва в державі. Також слід зазначити, що їх неможливо застосовувати для габаритних будівельних конструкцій та деталей, тому необхідним є чітке обґрунтування розмірів та умов проведення експерименту на модельних зразках. Альтернативою натурним випробуванням є розрахункові методи на основі використання сучасної обчислювальної техніки та потужного програмного забезпечення, які на даний час набули дуже високого розвитку. Однак, будь-який розрахунок повинен бути орієнтований на експеримент, особливо якщо це стосується визначення залишкової несучої здатності будівель, ушкоджених пожежами, чи будівель, що підлягають реконструюванню. Для розв'язання таких задач перспективним є застосування розрахунково-експериментальних методів.

Розділ II. Обладнання і методики досліджень. Описані методики отримання зразків з бетону для попереднього комплексного аналізу їхніх теплофізичних, механічних властивостей та структури. Як модельні використані циліндричні зразки діаметром 56 мм, 76 мм та 100 мм і довжиною відповідно 100 мм, 200 мм та 300 мм. До експериментального обладнання належали муфельна піч СНОЛ 1,6.2. 0.0,8/9-М-1 (потужність 6,2 кВт), сушильні шафи СНОЛ 3,5.35. 3,5/3М (потужність 3,5 кВт), СЭШ-3М (потужність 1,2 кВт), установка, що комбінує домкрат

гідравлічної дії та муфельну піч (потужність 2,5 кВт), а також комплект устаткування для дослідження зразків. Теплофізичні, механічні та структурні властивості зразків досліджувалися за допомогою комплексної методики, яка включала механічні випробування міцності та деформативності бетону, міцності зчеплення арматури й бетону, початкового модуля пружності, теплові випробування з подальшим розв'язанням оберненої задачі теплопровідності за методом, запропонованим П.Г. Круковським, при використанні програми «FRIEND». Структура бетону вивчалася методом оптичної мікроскопії та растрової електронної мікроскопії на вітчизняному електронному мікроскопі РЕМ 100У за методикою, розробленою в міжкафедральній лабораторії матеріалознавства Черкаського державного технологічного університету.

Режими нагріву зразків, що випробовувалися, визначені за заданими режимами прогріву середини зразка. Поставлена задача розв'язувалася за допомогою багаторазового прямого розв'язку рівняння Фур'є в циліндричних координатах. На кожному кроці ітерацій варіювалося значення температури поверхні зразка, як при розв'язку з граничними умовами (ГУ) II роду, до тих пір, поки не був досягнутий мінімум функціонала:

$$\Phi = \frac{1}{n} \sqrt{\sum_i (T_{Hi} - T_{Pi})^2}, \quad (1)$$

де T_{Hi} – необхідне значення температури в середині зразка;

T_{Pi} – розраховане значення температури в середині зразка у вузловій точці, відповідній певному часові.

Температура на поверхні апроксимувалася кусково-лінійною функцією. Рівняння Фур'є розв'язувалося кінцево-різницевою методом за явною схемою. Для розв'язку застосовувався математичний процесор Mathcad 2000 Pro.

Розділ III. Обґрунтування вибору режимів нагрівання бетонних зразків, що підлягають комбінованим випробуванням. Для обґрунтування й реалізації розрахунково-експериментального методу визначення вогнестійкості стиснутих елементів залізобетонних конструкцій був проведений попередній аналіз теплофізичних і механічних властивостей бетону, з якого виготовлені ці елементи.

При дослідженні механічних властивостей бетонних зразків були отримані дані щодо впливу складу бетону на його міцність і деформативність при короткочасних навантаженнях.

На підставі аналізу результатів попередніх досліджень зроблено висновок, що початкова циліндрична міцність $R_{\phi 0}$ бетонних зразків не має кореляції з крупністю заповнювача і зміною водоцементного відношення, тому можна використовувати усереднене значення початкової циліндричної міцності, що відповідає даним, відомим з літератури. Для досліджених

зразків вона складала $R_{60} = 34$ МПа. Початковий та умовний модулі пружності мають залежність від крупності заповнювача, що зрозуміло й підтверджується літературними даними.

Для визначення теплофізичних характеристик бетону зразків здійснювалося їх нагрівання до температури (800–900) °С, а також охолодження до температури навколишнього середовища в печі й поза піччю. Температура фіксувалася термопарами в середині й на поверхні циліндричного зразка. У результаті експерименту були отримані температурні криві прогріву зразків на поверхні й усередині зразків на стадії нагрівання й охолодження (див. рис. 1).

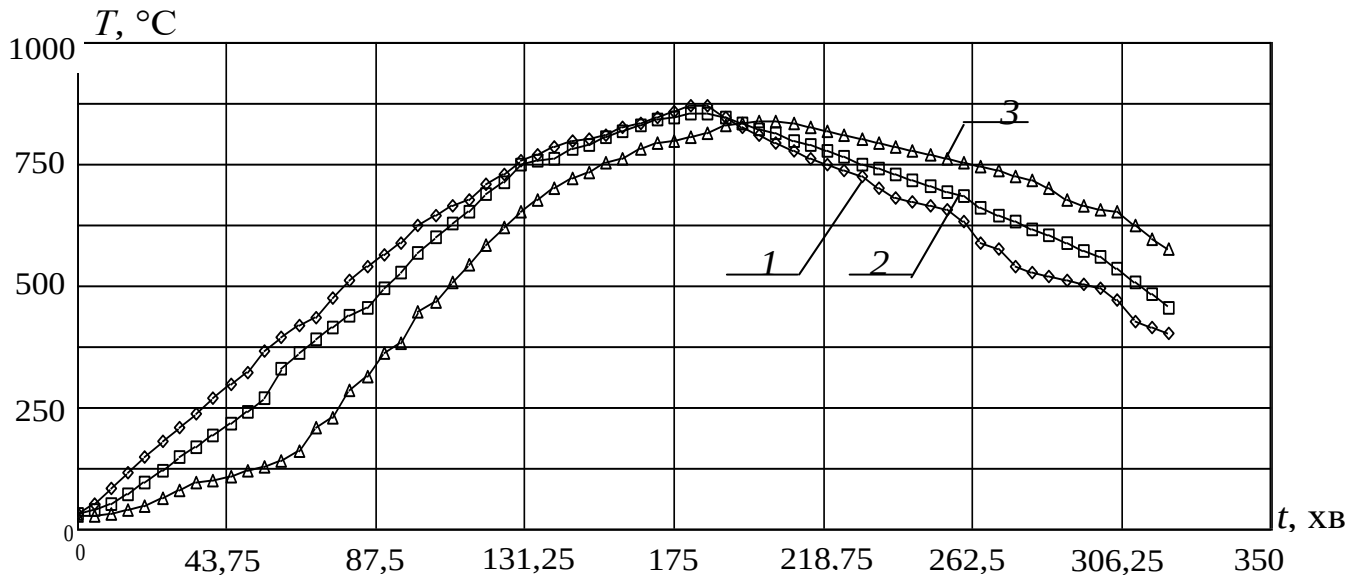


Рис. 1. Температурні режими нагрівання шарів циліндричного бетонного зразка (розмір великого заповнювача 30–40 мм, В/Ц = 0,36):

1 – крива нагріву камери печі; 2 – крива нагріву поверхні зразка; 3 – крива нагріву середини зразка

Для перевірки відповідності результатів відомих методів розрахунку температур у бетоні реальній картині прогріву досліджуваних зразків було використано одномірне рівняння Фур'є в циліндричних координатах з граничними умовами I роду і теплофізичними характеристиками (ТФХ) – залежностями, відповідно, теплоємності та коефіцієнта теплопровідності від температури у вигляді:

$$c(T) = 710 + 0,83 \cdot T, \quad \lambda(T) = 1,2 - 0,00035 \cdot T. \quad (2)$$

Для розв'язку прямої задачі нестационарної теплопровідності була застосована підстановка Гудмена:

$$H = \int_0^T C_v(T) dT, \quad (3)$$

де $Cv(T) = \rho(T)C(T)$ – об’ємна теплоємність.

Кінцево-різницева апроксимація рівняння Фур’є, лінеаризованого за допомогою підстановки Гудмена, була проведена в явній формі із застосуванням інтегро-інтерполяційного методу. При цьому рівняння Фур’є записується у вигляді:

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left[r \cdot k(H(T)) \cdot \frac{\partial H}{\partial r} \right]; \quad k(H(T)) = \lambda(H(T))/Cv(H(T)), \quad (4)$$

а кінцево-різницева апроксимація проводилася за формулами:

$$\frac{\partial H}{\partial t} = \frac{H_{k+1,i} - H_{k,i}}{\Delta t}; \quad \frac{1}{r} \cdot \frac{\partial}{\partial r} \left[r \cdot k(H(T)) \cdot \frac{\partial H}{\partial r} \right] = \frac{1}{r_{k,i} \cdot \Delta r^2} (aT_{k,i-1} - (a+b)T_{k,i} + bT_{k,i+1}); \quad (5)$$

$$\frac{1}{a} = \frac{1}{r_{i-\frac{1}{2}}} \int_0^{\Delta r} \frac{dr}{k(H(T))} = \frac{(k(T_{i-1}) + k(T_i))\Delta r}{r_{i-\frac{1}{2}} k(T_{i-1})k(T_i)}; \quad \frac{1}{b} = \frac{1}{r_{i+\frac{1}{2}}} \int_0^{\Delta r} \frac{dr}{k(H(T))} = \frac{(k(T_{i+1}) + k(T_i))\Delta r}{r_{i+\frac{1}{2}} k(T_{i+1})k(T_i)},$$

де $\Delta t = 60$ с, $\Delta r = 0,01$ м – часовий та просторовий кроки.

Для ідентифікації ТФХ був використаний метод розв’язку оберненої задачі теплопровідності (ОЗТ), запропонований П.Г. Круковським.

У результаті проведених розрахунків були ідентифіковані ТФХ зразків з різними значеннями водоцементного відношення (В/Ц) і крупності заповнювача. Отримані залежності узагальнені у вигляді регресійних залежностей:

$$\begin{aligned} Cv(T) &= 3,241 \cdot 10^6 - 8,791 \cdot 10^4 T + 847,47 \cdot T^2 - 2,86 \cdot T^3 + 3,251 \cdot 10^{-3} T^4 \quad \text{при } T \leq 311^\circ\text{C}; \\ Cv(T) &= 6,08 \cdot 10^6 - 4,253 \cdot 10^4 T + 174,964 \cdot T^2 - 0,308 \cdot T^3 + 1,889 \cdot 10^{-3} T^4 \quad \text{при } T > 311^\circ\text{C}; \\ \lambda(T) &= 2,078 - 0,04 \cdot T + 2,733 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 - 7,351 \cdot 10^{-7} \cdot T^3 + 7,431 \cdot 10^{-10} T^4 \quad \text{при } T \leq 311^\circ\text{C}; \\ \lambda(T) &= 3,803 - 0,033 \cdot T + 1,293 \cdot 10^{-4} \cdot T^2 - 2,036 \cdot 10^{-7} \cdot T^3 + 1,112 \cdot 10^{-10} T^4 \quad \text{при } T > 311^\circ\text{C}. \end{aligned} \quad (6)$$

Реалізація методу полягала в мінімізації цільового функціонала (1) за допомогою ітераційної процедури Ньютона-Гаусса. Для її реалізації здійснювалася параметризація задачі з розглядом характеристик, які підлягають ідентифікації, у вигляді поліноміальних функцій або сплайнових функцій, якщо характер нелінійності такий, що не дозволяє описати параметр одним поліномом. Для реалізації алгоритму цього методу використана спеціалізована програма FRIEND (Free Identification for ENgineers and Designers).

Порівняльні дані розрахунку щодо ТФХ важкого бетону на гранітному заповнювачі, відомі з літератури і визначені в роботі, наведені в табл. 1.

Таблиця 1

Порівняльні дані розрахунку за ТФХ бетону В-30

№ п/п	Залежності ТФХ від температури		Середньоквадратичне відхилення, °С
	Коеф. теплопровідності $\lambda(T)$, Вт/(м·°С)	Об'ємна теплоємність $C_V(T)$, Дж/(м³·°С)	
1	1,042	$2,525 \cdot 10^6$	35
2	$1,2 - 0,00035 \cdot T$	$2330 \cdot (710 + 0,83 \cdot T)$	21
3	формули (6)	формули (6)	4,7

Отримані залежності були використані для подальшого розрахунку температурних режимів зразків на стадії нагрівання.

Для визначення режимів прогріву бетонних зразків розглядався процес прогрівання залізобетонної колони перерізом 400×400 мм, довжиною 3 м, з важкого бетону В-30 на гранітному заповнювачі, з арматурою класу А-III, зі сталі Ст. 3 і захисним шаром покриття 50 мм в умовах всебічного обігріву за стандартною температурною кривою пожежі. Схеми, що дискретизують переріз, подані на рис. 2 та рис. 3.

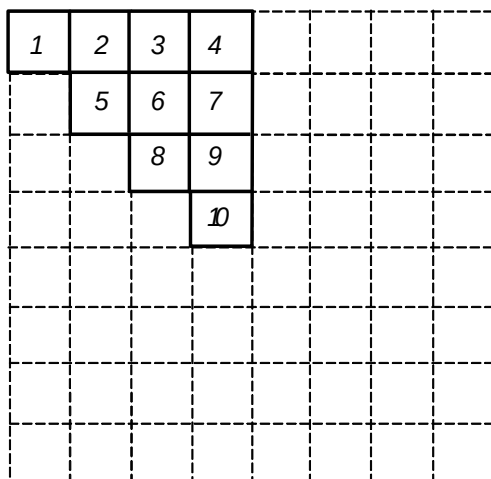


Рис. 2. Схема розділення перерізу залізобетонної колони на елементи при її всебічному нагріві

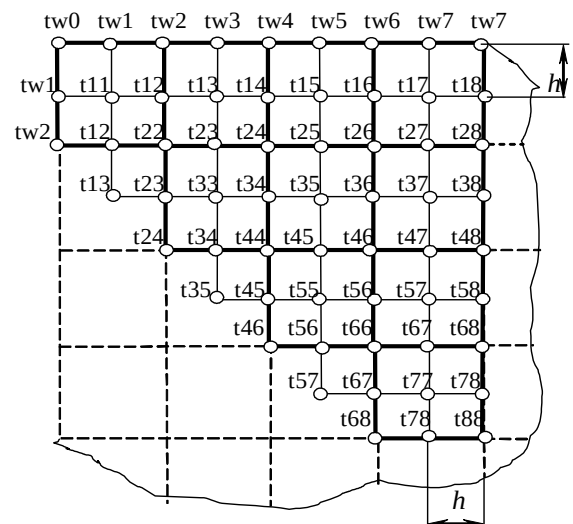


Рис. 3. Схема дискретизації 1/8 частини перерізу залізобетонної колони при її всебічному нагріві

Прогрів перерізу колони описувався двомірним квазилінійним рівнянням Фур'є:

$$C_V(T) \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x} \right) + \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial y} \right). \quad (7)$$

Рівняння Фур'є, у свою чергу, подано у кінцево-різницевої формі виразами:

$$A_{i,k} = C_V(T) \frac{\partial T}{\partial t} = C_V \left(\frac{T_{i,k} + T_{i,k+1}}{2} \right) \cdot \frac{T_{i,k+1} - T_{i,k}}{\Delta t}; \quad B_{i,k} = \frac{\partial}{\partial x} \left(\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial x} \right) = a_x T_{i-1,k}^x - (a_x + b_x) T_{i,k}^x + b_x T_{i+1,k}^x;$$

$$C_{i,k} = \frac{\partial}{\partial y} \left(\lambda(T) \frac{\partial T}{\partial y} \right) = a_y T_{i-1,k}^y - (a_y + b_y) T_{i,k}^y + b_y T_{i+1,k}^y; \quad (8)$$

$$\frac{1}{a} = h \int_0^{\Delta h} \frac{dh}{\lambda(T)} = \frac{(\lambda(T_{i-1}) + \lambda(T_i)) h^2}{\lambda(T_{i-1}) \lambda(T_i)}; \quad \frac{1}{b} = h \int_0^{\Delta h} \frac{dh}{\lambda(T)} = \frac{(\lambda(T_{i+1}) + \lambda(T_i)) h^2}{\lambda(T_{i+1}) \lambda(T_i)},$$

де $h = 0,025$ м – крок розбиття перерізу;

$\Delta t = 60$ с – часовий крок.

При цьому використовувалися граничні умови (ГУ) III роду, апроксимовані виразом:

$$\frac{\lambda(T_{w_k}) \lambda(T_{1,k})}{\lambda(T_{w_k}) + \lambda(T_{1,k})} \cdot \frac{T_{w_k} - T_{1,k}}{h} + \frac{h \cdot C_V(T_{1,k})}{2 \cdot \Delta t} \cdot (T_{1,k} - T_{1,k-1}) = \alpha_k (T_{1,k} - T_{p,k}), \quad (9)$$

де α – коефіцієнт теплообміну, що має радіаційну та конвективну складові.

Для розрахунку за формулами (7)–(9) застосовувалася комп'ютерна система Mathcad 13 Pro. Після проведення розрахунків були отримані режими нагрівання зразків, дискретизуючих переріз, які подані на рис. 4.

При експериментальній реалізації режимів прогріву бетонних зразків здійснювався режим нагрівання камери муфельної печі, який забезпечує прогрів середини певного зразка за розрахованим для нього режимом. У даному випадку ОЗТ формулювалася як задача управління джерелами тепла. Результатом розв'язку такої задачі є визначення ГУ III роду за відомим режимом нагрівання серединної точки зразка, що збігається з розрахованим раніше режимом.

Проведені експерименти дозволили спростити задачу і розв'язувати її відносно ГУ I роду з подальшим переходом до квазіоберненої задачі перерахування ГУ I роду в ГУ III роду. З огляду на вищевикладене, був використаний метод автоматизованого підбору температурного режиму поверхні зразка, заснований на його варіаціях з наступним вибором режиму, що відповідає мінімуму функціонала (1) з реалізацією алгоритму підбору в програмі Mathcad 13 Pro.

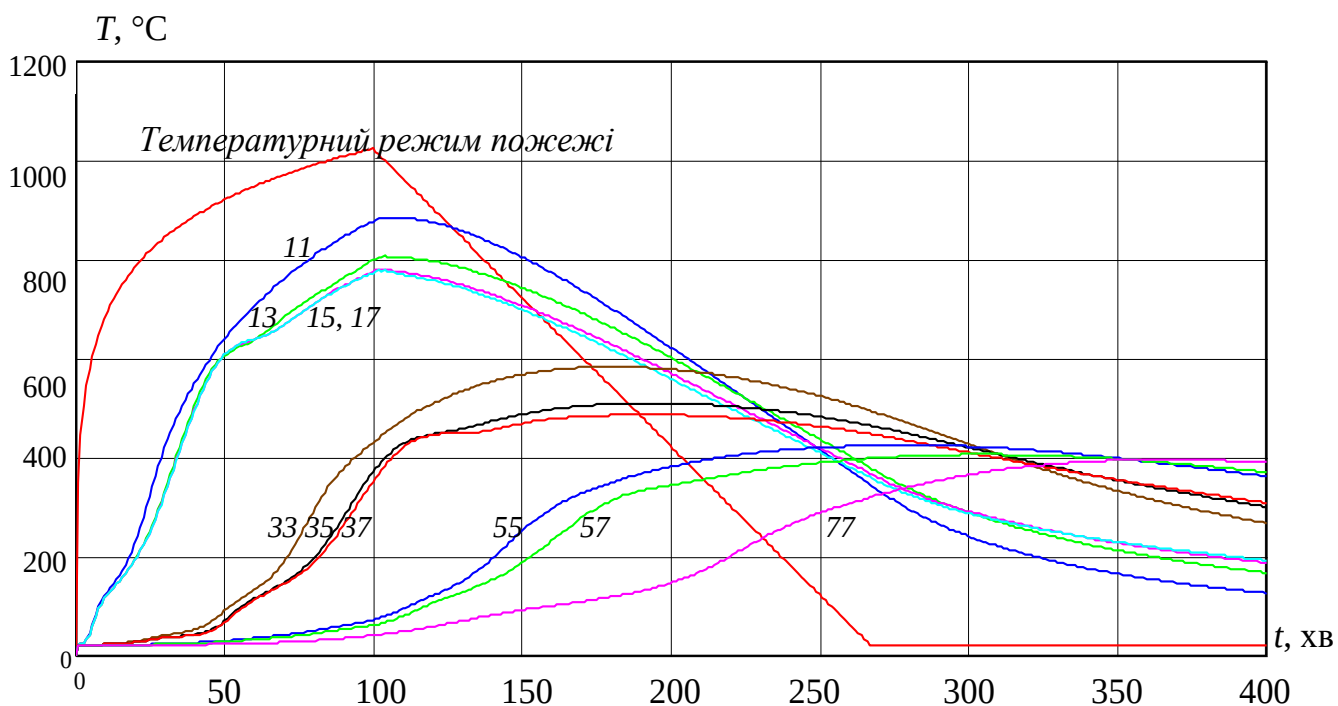


Рис. 4. Температурні криві в точках 11, 13, 15, 17, 33, 35, 37, 55, 57, 77 (див. рис. 3), що моделюють поведінку відповідних внутрішніх шарів залізобетонної колони 400×400 мм з максимальним розвитком пожежі на 100-й хвилині

Таблиця 2

Розрахункові режими нагріву камери печі (для зразків Ø56 мм)

№ зр. відп. до схеми на рис. 2	Режим нагріву зразка	Макс. розкид значень темп. по перерізу зразка, °C	Середньоквадратичне відхилення від заданого режиму, °C
1	• нагрів камери до 305 °C, поміщення туди зразка та витримка 7 хв; • нагрів зі швидкістю 16 °C/хв 10 хв; • нагрів зі швидкістю 5 °C/ хв 38 хв; • нагрів зі швидкістю 3 °C/ хв 31 хв; • витримка при температурі 900 °C 14 хв; • охолодження	158	2
10	• нагрів зі швидкістю 1 °C/хв 70 хв; • нагрів зі швидкістю 2 °C/хв 100 хв; • нагрів зі швидкістю 1 °C/хв 100 хв; • охолодження	86	10

Розрахунок коефіцієнта тепловіддачі здійснювався з використанням даних, наведених на рис. 1. Також при цьому використовувалася математична модель (2)–(6) і формула різницевої апроксимації ГУ III роду (9). Отримані залежності коефіцієнта тепловіддачі були використані для знаходження режимів нагріву зразків як апіорного матеріалу при визначенні вогнестійкості стиснутих елементів залізобетонних конструкцій. Приклади режимів нагріву камери печі для відповідних зразків наведені у табл. 2.

Аналогічні режими отримані й для інших зразків. При цьому максимальна середньоквадратична похибка не перевищувала $15\text{ }^{\circ}\text{C}$, а максимальний розкид температур по перерізу зразка становив $210\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Розділ IV. Результати комбінованих випробувань бетонних зразків і арматури. З використанням методики, описаної в розділі II, були розраховані режими для нагрівання бетонних зразків, що моделюють внутрішні шари колони, а також були проведені випробування з метою відпрацювання методики визначення вогнестійкості залізобетонної колони. Для проведення комбінованих випробувань використовувалася та ж сама модель залізобетонної колони, що центрально стиснута із силою 2,5 МН.

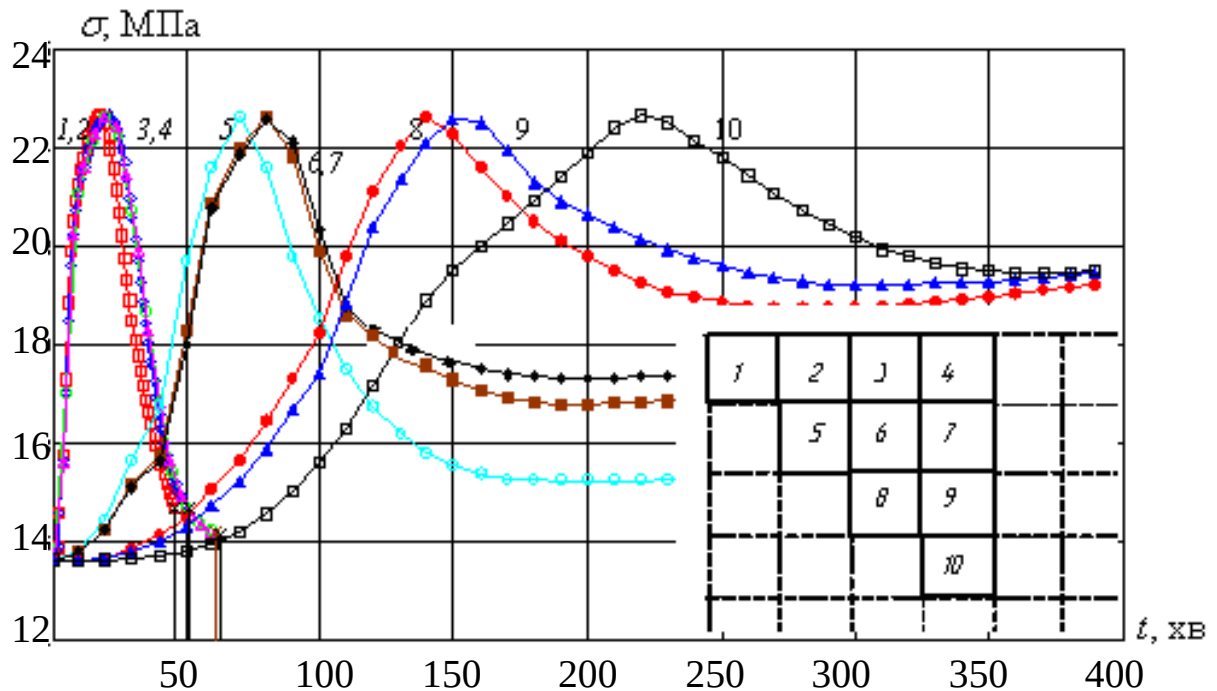


Рис. 5. Залежності напружень від часу для бетонних зразків $\varnothing 56$ з В/Ц = 0,36 і крупністю заповнювача (20–30) мм, що моделюють внутрішні шари центрально стиснутої залізобетонної колони:

1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10 – криві напружень у зразках, які моделюють відповідні області колони, згідно зі схемою їх розташування в перерізі

Відповідно до даної схеми, при випробуваннях прикладалося стискальне навантаження на циліндричний зразок $\varnothing 56$ мм – 38,5 кН (3,85 тс), а на зразок $\varnothing 76$ – 71,0 кН (7,10 тс). Експеримент проводився при фіксованому положенні губок основи установки та гідравлічного домкрата. Основним параметром при здійсненні експерименту був тиск у робочому циліндрі домкрата, що відповідає середньому напруженню стиску у випробуваному зразку. Результати вимірів наведені на рис. 5.

Для врахування ймовірного поздовжнього вигину колони вводився випадковий ексцентриситет стискального навантаження. З огляду на діючий момент, до кожного зразка при комбінованих випробуваннях прикладалося своє визначене навантаження.

Після циклу комбінованих випробувань зразки, що залишилися цілими, піддавалися випробуванням для встановлення їхніх механічних властивостей. Міцність та деформативність визначалися на партіях зразків, що моделюють внутрішні шари, відповідно до схеми дискретизації на рис. 2.

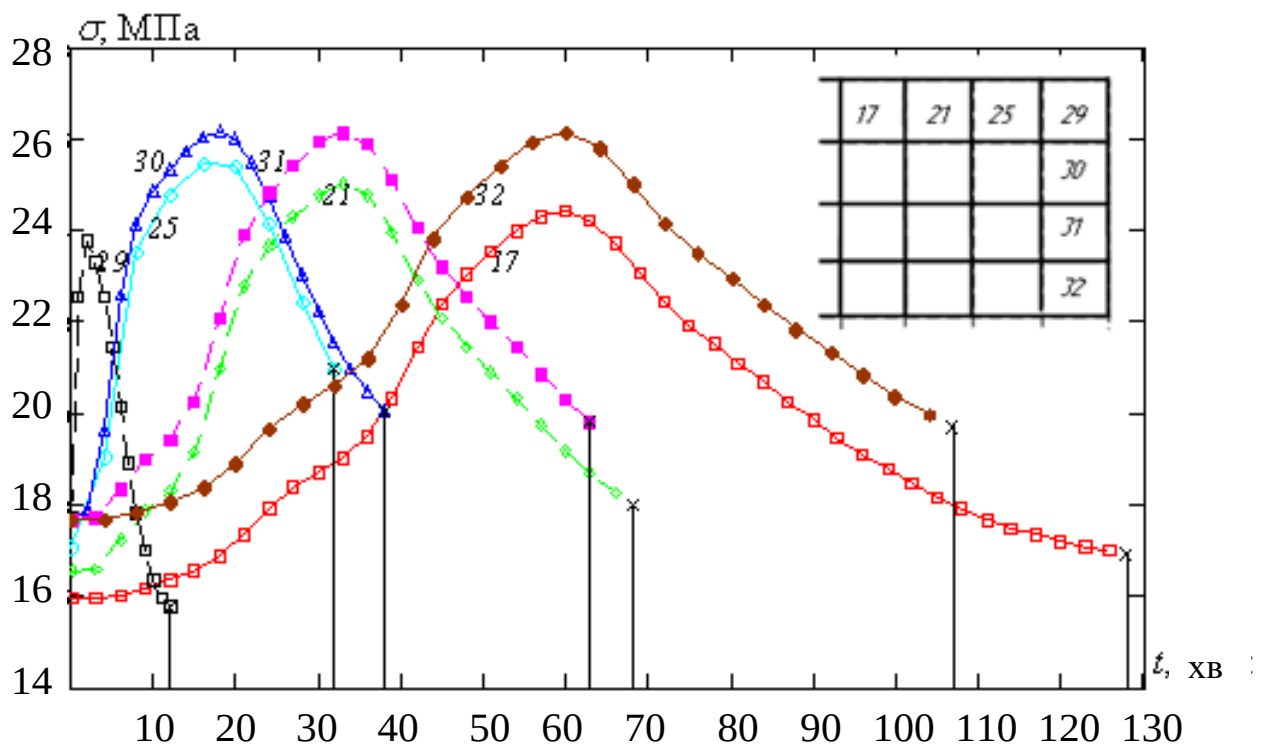


Рис. 6. Залежності напружень від часу для бетонних зразків $\varnothing 76$ з В/Ц = 0,36 і крупністю заповнювача 30–40 мм, що моделюють внутрішні шари відцентрово стиснутої залізобетонної колони:

17, 21, 25, 29, 31, 32 – криві напружень у зразках, які моделюють відповідні області колони, згідно зі схемою їх розташування в перерізі

Для визначення стану бетону після комбінованих випробувань були проведені дослідження поверхневої та внутрішньої структури візуальним оглядом, а також за методикою

оптичної та растрової електронної мікроскопії, описаної в розділі II. Мікрофотографії показують, що пори бетону збільшилися внаслідок термічного розкладання цементного каменю. Крім того, виникло багато мікротріщин, особливо поблизу границь між розчином і крупним заповнювачем. Ці фактори позначилися на міцності бетону і призвели до того, що під час комбінованих випробувань відбулася часткова релаксація напружень, а також збільшилася гранична стискальність бетонних зразків. В основному тріщини були розвинуті на поверхні й усередині зразків з більшої крупністю заповнювача, тоді як водоцементне відношення вплинуло на наявність крихкого руйнування. Зразки з великим водоцементним відношенням були більше піддані крихкому руйнуванню.

З використанням методики, описаної в розділі II для бетонних зразків, що моделюють внутрішні шари колони з арматурою, були проведені комбіновані випробування. Режим нагрівання забезпечувався однаковим для всіх зразків та збігався з режимом прогріву шарів із температурою t_{22} , відповідно до схеми дискретизації, поданої на рис. 3.

Результати комбінованих випробувань зразків з арматурою подані на рис. 7.

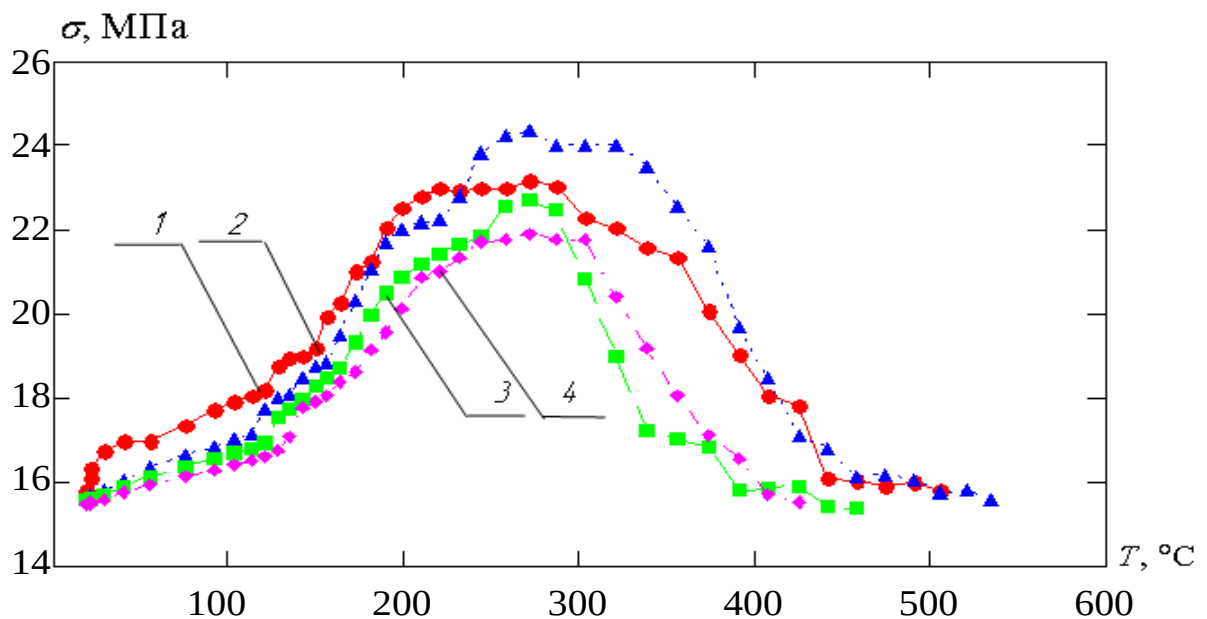


Рис. 7. Залежності напружень від температури для бетонних зразків $\varnothing 76$ з арматурою з крупністю заповнювача:

1 – (5–10) мм; 2 – (10–20) мм; 3 – (20–30) мм; 4 – (30–40) мм

Руйнування зразків відбувалося у два етапи. На першому етапі напруження в зразку з арматурою мали рівень, подібний до рівня напружень у бетонних зразках без арматури. Діаграма напружень у зразку мала негладкий характер, зумовлений їх стрибками в результаті утворення великих тріщин. Другий етап був пов'язаний з інтенсивними пластичними деформаціями в арматурному стержні, що призводило до часткового руйнування бетону й оголення поверхні стержня. Після цього в стержні утворювався пластичний шарнір, і зразок повністю руйнувався.

Це значить, що другий етап пов'язаний з аварійною роботою композиції бетону й арматури і його настання ідентифікується як настання граничного стану.

Розділ V. Обґрунтування ефективності розрахунково-експериментального методу визначення вогнестійкості стиснутих залізобетонних елементів. На основі даних досліджень розділів III і IV роботи була сформульована принципова послідовність операцій методу визначення вогнестійкості стиснутих елементів залізобетонних конструкцій, які зводяться до такого.

1. При виготовленні залізобетонну конструкції, з того ж самого матеріалу виготовляють партію циліндричних зразків.
2. Визначають ТФХ бетону за допомогою експериментально-розрахункової методики, використаної в розділі III.
3. Здійснюють розбиття перерізу стиснутого елемента залізобетонної конструкції на скінченні області.
4. Використовуючи стандартну температурну криву пожежі, розраховують режими прогріву середин скінченних областей, на які розбитий переріз елемента.
5. Розраховують температурний режим прогріву камери печі для реалізації розрахованого раніше прогріву однієї зі скінченних областей, на які розбитий переріз елемента.
6. Відповідно до розрахункової схеми стиснутого елемента розраховують навантаження, що діє на кожну зі скінченних областей, на які розбитий переріз елемента.
7. За розрахованими режимами нагрівання камери печі та стискального навантаження на скінченні області, на які розбитий переріз елемента, здійснюють комбіновані випробування за методикою, використаною в розділі IV, з фіксуванням часу руйнування зразка (якщо воно має місце).
8. Визначають механічні характеристики зразків, що не зруйнувалися в процесі випробувань.
9. На основі отриманих даних механічних випробувань розрахунковим шляхом одержують дані про несучу здатність елемента в момент часу, для якого виконувалися розрахунки п. 4, і на основі цього визначають відповідність елемента до потрібної межі вогнестійкості.

Для відпрацювання методу була виконана ідентифікація для II ступеня вогнестійкості за несучою здатністю R120 для центрально стиснутої залізобетонної колони, параметри якої наведені в розділах III і IV. При реалізації методу була застосована схема дискретизації, подана на рис. 4.

Зовнішнє штатне навантаження, що відповідає розрахунковій схемі будинку, створює деформацію, що визначається за формулою:

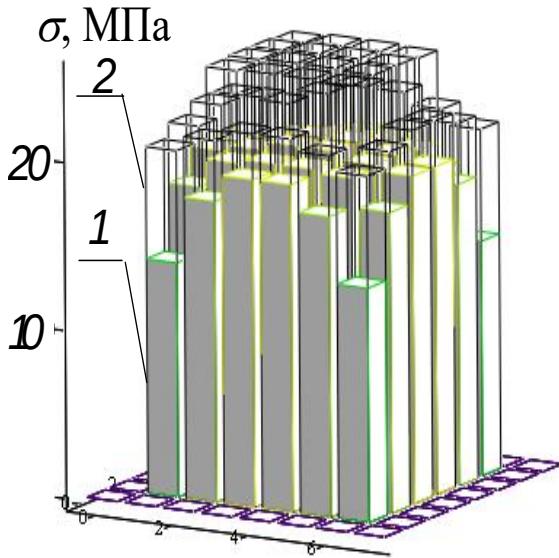


Рис. 8. Напруження (1) для центрально стиснутої колони і відповідна міцність (2) зразків після комбінованих випробувань

$$\varepsilon = \frac{P}{m \cdot f \cdot \sum_{i=1}^m E_{bTi} + n \cdot f_a \cdot E_a}, \quad (10)$$

де N – стискальне навантаження;

E_{bTi} – модуль пружності i -го зразка після комбінованих випробувань у момент руйнування;

E_a – модуль пружності стали для температури, що відповідає кінцеві випробувань;

f – площа однієї зі скінченних областей, на які розбитий переріз елемента;

m – кількість скінченних областей, стан яких моделюють зразки, що не зруйнувалися в процесі комбінованих випробувань;

n – кількість арматурних стержнів;

f_a – площа поперечного перерізу арматурних стержнів.

За деформацією елемента визначається напруження, що діє в кожній з областей, на які розбитий його переріз. З рис. 8 витікає, що рівень напружень, які діють у шарах колони, нижчий за міцність тих же самих зразків, підданих механічним випробувань, після циклу комбінованих випробуванням. З цього можна зробити попередній висновок, що вогнестійкість колони з несучою здатністю є більшою за 120 хв.

Враховуючи випадковий ексцентриситет стискального навантаження, для розрахунку несучої здатності центрально стиснутих колон можна скористатися формулою:

$$N = \varphi \left(\sum_i R_{bi} f + \sum_j \gamma_{aj} R_a f_a \right), \quad (11)$$

де R_b – міцність бетонних зразків після комбінованих випробувань;

R_a – нормативний опір робочої арматури;

γ_a – коефіцієнт зниження нормативного опору арматури;

φ – коефіцієнт поздовжнього вигину.

З використанням цього інтегрального критерію була виконана оцінка несучої здатності колони, яка не перевищувала 2,68 МН.

Аналогічні розрахункові процедури були розроблені та проведені для комбінованих випробувань, результати яких частково подані на рис. 6. У цьому випадку несуча здатність складала 2,6 МН.

Також були проведені дослідження точності та ефективності розрахунково-експериментального методу, в результаті чого з'ясовано, що його точність удвічі більша порівняно з розрахунковими методами, а також те, що цей метод має меншу вартість та трудомісткість, оскільки для своєї реалізації потребує приведеної маси обладнання в 35 раз меншої, ніж приведена маса обладнання натурних вогневих випробувань.

У роботі сформульовані вимоги, при дотриманні яких забезпечується найбільша ефективність методу. Ці вимоги стосуються структури, складу і технології виготовлення зразків, параметрів вимірювального обладнання й умов проведення випробувань, теплових режимів їхнього нагрівання при визначенні ТФХ, просторової розбивки перерізу і часового інтервалу.

ВИСНОВКИ

В роботі одержано нові науково обґрунтовані результати, що в сукупності забезпечують вирішення науково-практичної задачі щодо обґрунтування розрахунково-експериментального методу для визначення вогнестійкості стиснутих елементів залізобетонних конструкцій на основі поєднання комп'ютерного моделювання та комплексних лабораторних випробувань.

Під час виконання роботи були отримані такі результати.

1. На основі проведених досліджень обґрунтовано розрахунково-експериментальний метод визначення вогнестійкості стиснутих елементів залізобетонних будівельних конструкцій. Результатом обґрунтування є розробка послідовності основних процедур методу, описання математичного апарату для моделювання процесів, що відбуваються в елементах при дії пожежі, технічних вимог до експериментальної бази та її метрологічного забезпечення, а також оцінка достовірності цього методу. Обґрунтований метод дозволяє істотно знизити вартість та трудомісткість при проведенні досліджень вогнестійкості залізобетонних будівельних конструкцій зі стиснутими елементами.

2. Відомі з літератури ТФХ недостатньо точно описують нагрів бетону і повністю не враховують особливості зміни температури бетону при нагріві внаслідок впливу на ТФХ складу та структури бетону конкретного виробу, і тому вони не можуть бути використані для визначення режимів прогріву бетонних зразків, що моделюють його внутрішні шари.

3. Знайдені та практично реалізовані режими нагріву зразків при їх комбінованих випробуваннях в умовах, що моделюють роботу бетону в стиснутому елементі залізобетонної конструкції, при використанні попередньо визначених ТФХ бетону, коефіцієнта тепловіддачі його поверхні, а також режиму прогріву печі. Такий результат досягнутий за допомогою розв'язку ОЗТ в постановці задачі ідентифікації та задачі управління. Знайдені розрахункові

режими мають середньоквадратичне відхилення від експериментальних в межах 15 °С, що вказує на їх прийнятну точність.

4. Показано, що при комбінованих випробуваннях підвищення напружень унаслідок температурного розширення бетонних зразків відбувається до певної межі, після чого настає релаксація, обумовлена швидкоплинною температурною повзучістю бетону, причому крупність заповнювача впливає на зростання напружень, деформативність зразків після випробувань, а також на довжину, розгалуженість та ширину розкриття тріщин. Крупність заповнювача не має суттєвого впливу на залишкову міцність зразків.

5. Напруження в зразках з арматурою до певної межі мають рівень, подібний рівню напружень у бетонних зразках без арматури, а потім знижуються внаслідок часткової руйнації бетону, після чого в стержні утворюється пластичний шарнір і зразок повністю руйнується. Настання інтенсивного нарощування тріщин у бетонних зразках з арматурою, зумовлене великими пластичними деформаціями металевго стержня, можна ідентифікувати як настання граничного стану в зразку.

6. Проаналізована ефективність розрахунково-експериментального методу, в результаті чого з'ясовано, що цей метод є менш вартісним та трудомістким, оскільки має приведену масу обладнання в 35 раз меншу порівняно з приведеною масою обладнання натурних вогневих випробувань, при цьому точність його є вдвічі вищою порівняно з розрахунковим методом.

7. Сформульовані технічні вимоги до розрахункової та експериментальної бази для досягнення найбільшої ефективності та точності розробленого розрахунково-експериментального методу визначення ступеня вогнестійкості стиснутих елементів залізобетонних будівельних конструкцій.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Поздеев С.В., Некора О.В., Поздеев А.В. Методика определения режимов нагрева бетонных образцов, моделирующих состояние элементов строительных конструкций при пожаре // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: АГЗУ. – Вып. 19. – 2006. – С. 111–116.

2. Поздеев С.В., Некора О.В., Поздеев А.В. Обґрунтування вибору режимів нагріву зразків для експериментально-розрахункового методу визначення вогнестійкості залізобетонних будівельних конструкцій // Пожежна безпека. Зб. наук. пр. – Л.: ЛДУБЖД. – № 9. – 2006. – С. 125–132.

3. Поздеев С.В., Григорян Б.Б., Некора О.В., Поздеев А.В. Обоснование методики расчета температурных режимов прогрева камеры печи при комбинированных испытаниях

бетонных образцов // Науковий вісник Українського науково-дослідного інституту пожежної безпеки. – № 2(14). – 2006. – С. 140–147.

4. Некора О.В. Определение несущей способности железобетонной колонны при пожаре расчетно-экспериментальным методом // Вісник ЧДТУ. – 2006. – № 4. – С. 15–20.

5. Поздеев С.В., Некора О.В., Поздеев А.В. Обоснование экспериментально-расчетной методики определения несущей способности железобетонной колонны при пожаре // Проблемы пожарной безопасности. – Харьков: УГЗУ. – Вып. 21. – 2007. – С. 201–207.

6. Поздеев С.В., Некора О.В., Поздеев А.В. Усовершенствование методики испытаний по оценке остаточной несущей способности железобетонных конструкций после пожара // Моделирование и оптимизация в материаловедении: Труды МОК' 44. – Одесса, 2005. – С. 180.

7. Поздеев С.В., Некора О.В., Поздеев А.В., Григорян Б.Б. Обоснование расчетно-экспериментальной методики определения остаточной несущей способности элементов железобетонных конструкций при пожаре // Компьютерное материаловедение и обеспечение качества: Мат-лы 45-го междунар. семинара по моделированию и оптимизации композитов – МОК'45. – Одесса, 2006. – С. 187.

8. Поздеев С.В., Некора О.В., Поздеев А.В., Григорян Б.Б. Обоснование методики комбинированных испытаний для определения остаточной несущей способности элементов железобетонных конструкции при пожаре // Моделирование в компьютерном материаловедении: Мат-лы 46-го междунар. семинара по моделированию и оптимизации композитов – МОК'46. – Одесса, 2007. – С. 206.

9. Поздеев С.В., Некора О.В., Поздеев А.В. До розробки експериментально-розрахункової методики випробувань залишкової несучої здатності залізобетонних колон після пожежі // Пожежна безпека та аварійно-рятувальна справа: стан, проблеми і перспективи: Мат-ли VII Всеукр. наук.-практ. конф. рятувальників. – УкрНДІПБ, 2005. – С. 343–345.

10. Поздеев С.В., Некора О.В., Поздеев А.В. Экспериментально-вычислительная методика оценки несущей способности железобетонных конструкций во время и после пожара // Пожарная безопасность многофункциональных и высотных зданий и сооружений: Мат-лы XIX науч.-практ. конф. – Ч. 1. – М.: ВНИИПО, 2005. – С. 142–145.

11. Поздеев С.В., Некора О.В., Поздеев А.В. Методика определения режимов нагрева бетонных образцов, моделирующих состояние элементов строительных конструкций при пожаре // Защита от чрезвычайных ситуаций: инновации и перспективы дополнительного образования. – Светлая Роща: УО «ИППК МЧСРБ». – 21–22 сентября 2006. – С. 220–222.

12. Поздеев С.В., Некора О.В., Григорян Б.Б., Поздеев А.В. Расчет температурных режимов прогрева камеры печи при тепловых испытаниях бетонных образцов // Мат-ли VIII Всеукр. наук.-практ. конф. рятувальників. – УкрНДІПБ, 2006. – С. 253–256.

13. Поздеев С.В., Некора О.В., Поздеев А.В., Григорян Б.Б. Определение несущей способности железобетонной колонны при пожаре расчетно-экспериментальным методом // Исторические и современные аспекты решения проблем горения, тушения и обеспечения безопасности людей при пожарах: Мат-лы XX науч.-практ. конф. – Ч. 1. – М.: ВНИИПО, 2007. – С. 222–226.

14. Поздеев С.В., Некора О.В., Поздеев А.В., Аброскин А.Н. Моделирование поведения внутренних слоев железобетонной колонны в условиях нагрева и действия механической нагрузки при пожаре // Мат-лы IV Междунар. науч.-практ. конф. – Ч. 3. – Минск: КИИ, 2007. – С. 113–115.

15. Поздеев С.В., Некора О.В., Поздеев А.В. Моделирование работы слоев с арматурой железобетонной колонны в условиях пожара // Мат-ли Міжнар. наук.-практ. конф. «Пожежна безпека – 2007». – Черкаси: АПБ, 2007. – С. 490.

АНОТАЦІЯ

Некора О.В. Розрахунково-експериментальний метод визначення вогнестійкості стиснутих елементів залізобетонних будівельних конструкцій. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 21.06.02 – пожежна безпека. Університет цивільного захисту України, Харків, 2007.

Робота присвячена розв'язанню важливої науково-технічної задачі – обґрунтуванню розрахунково-експериментального методу для визначення вогнестійкості стиснутих елементів залізобетонних конструкцій на основі поєднання комп'ютерного моделювання та комплексних лабораторних випробувань. Застосування цього методу дозволить скоротити або уникнути проведення трудомістких та дорогих випробувань для визначення вогнестійкості залізобетонних будівельних конструкцій зі стиснутими елементами при достатній достовірності та точності отриманих результатів.

У роботі обґрунтовані параметри модельних зразків для випробувань. Створена розрахункова та експериментальна база для відтворення теплового впливу температурного режиму пожежі на внутрішні шари бетону. Розроблена послідовність процедур визначення вогнестійкості стиснутих елементів на основі випробування зразків, що моделюють роботу внутрішніх шарів залізобетонних конструкцій під час пожежі та після неї. Досліджена точність та ефективність розрахунково-експериментального методу для визначення вогнестійкості залізобетонних колон, а також сформульовані умови проведення розрахунків та експериментів для досягнення його найбільшої ефективності.

Ключові слова: вогнестійкість, залізобетонні конструкції, стиснуті елементи, несуча здатність, розрахунково-експериментальний метод, лабораторні випробування, комп'ютерне моделювання.

АННОТАЦИЯ

Некора О.В. Расчетно-экспериментальный метод определения огнестойкости сжатых элементов железобетонных строительных конструкций. – Рукопись.

Диссертация на соискание научной степени кандидата технических наук по специальности 21.06.02 – пожарная безопасность. Университет гражданской защиты Украины, Харьков, 2007.

Работа посвящена решению важной научно-технической задачи – обоснованию расчетно-экспериментального метода для определения огнестойкости сжатых элементов железобетонных конструкций на основе объединения компьютерного моделирования и комплексных лабораторных испытаний, а также изучению точности и эффективности этого метода. Исходя из проведенных исследований, обоснован расчетно-экспериментальный метод определения огнестойкости сжатых элементов железобетонных строительных конструкций. Результатом обоснования является разработка последовательности основных процедур метода, описание математического аппарата для моделирования процессов, происходящих в элементах при воздействии пожара, технических требований к экспериментальной базе и ее метрологическому обеспечению, а также оценка достоверности данного метода. Обоснованный метод позволяет существенно снизить стоимость и трудозатраты при проведении испытаний на огнестойкость строительных конструкций.

Проанализировано влияние условий изготовления модельных бетонных образцов на их структуру и механические свойства, в результате чего обоснованы их геометрия и состав.

Найдены и практически реализованы режимы нагрева образцов при их комбинированных испытаниях в условиях, моделирующих работу бетона в сжатом элементе железобетонной конструкции при использовании предварительно определенных ТФХ бетона, коэффициента теплоотдачи его поверхности, а также режима прогрева печи. Данный результат достигнут при помощи решения обратной задачи теплопроводности в постановке задачи идентификации и задачи управления. Найденные расчетные режимы имеют среднеквадратичное отклонение от экспериментальных в пределах 15 °С, что свидетельствует об их приемлемой точности.

Показано, что при комбинированных испытаниях повышение напряжений вследствие температурного расширения бетонных образцов происходит до некоторого предела, после чего наступает релаксация, обусловленная быстро натекающей температурной ползучестью бетона,

причем крупность заполнителя влияет на рост напряжений, деформативность образцов после испытаний, а также на длину, разветвленность и ширину раскрытия трещин. Крупность заполнителя не оказывает существенного влияния на остаточную прочность образцов.

Напряжения в бетонном образце с арматурой до определенного предела имеют уровень, подобный напряжениям в бетонных образцах без арматуры, а затем снижаются вследствие частичного разрушения бетона, после чего в стержне образуется пластический шарнир и образец полностью разрушается. Наступление интенсивного нарастания трещин в бетонных образцах с арматурой, обусловленное большими пластическими деформациями металлического стержня, можно идентифицировать как наступление предельного состояния в образце.

Разработана детальная последовательность операций расчетно-экспериментального метода для определения огнестойкости сжатых элементов железобетонных конструкций, и при этом определена степень огнестойкости центрально и внецентренно сжатых железобетонных колонн.

Проанализирована эффективность обосновываемого расчетно-экспериментального метода, в результате чего выяснено, что он является менее дорогостоящим и трудоемким, поскольку имеет приведенную массу оборудования в 35 раз меньшую по сравнению с приведенной массой оборудования натуральных огневых испытаний, при этом его точность в два раза выше по сравнению с расчетным методом.

Сформулированы технические требования к расчетной и экспериментальной базе для достижения наибольшей эффективности и точности разработанного расчетно-экспериментального метода определения степени огнестойкости сжатых элементов железобетонных строительных конструкций.

Ключевые слова: огнестойкость, железобетонные конструкции, сжатые элементы, несущая способность, расчетно-экспериментальный метод, лабораторные испытания, компьютерное моделирование.

ABSTRACT

O.V. Nekora Experiment-calculated estimation method for reinforced concrete building struts flame resistance. – Manuscript copy.

Candidate's of technical science thesis in specialty 21.06.02 – Fire safety. Civil Defense University of Ukraine, Kharkiv, 2007.

The work is dedicated to a solution of an important scientific and technical task – substantiation for an experiment-calculated estimation method for reinforced concrete building struts flame resistance, on a basis of combination of computer simulation and complex laboratory tests. Application of this method shall allow reducing or avoiding the laborious and expensive tests for

reinforced concrete building struts flame resistance estimation, maintaining the sufficient reliability and accuracy of results.

The work provides a substantiation of parameters of model test samples. A computational and experimental basis for reproduction of fire temperature condition heat impact on internal layers of concrete has been created. A procedure sequence for determination of struts flame resistance during and after the fire has been developed. Reliability and accuracy of computational and experimental method for reinforced concrete columns flame resistance determination have been estimated. The conditions for the highest efficiency of calculations and experimental procedures have been formulated.

Key words: fire resistance, reinforced concrete structures, struts, bearing capacity, computational and experimental method, laboratory tests, computer simulation.