

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ТЕХНІЧНИЙ
УНІВЕРСИТЕТ БУДІВНИЦТВА ТА АРХІТЕКТУРИ

На правах рукопису

Стельмах Олег Адамович



**ВОГНЕСТІЙКІСТЬ І ЗАЛИШКОВА МІЦНІСТЬ
СТИСЛИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ ЕЛЕМЕНТІВ**

Спеціальність 05. 26. 02 — пожежна безпека

05. 23. 01 — будівельні конструкції,

будови і споруди

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового
ступеня кандидата технічних наук

Харків — 1997

514.84
524

AB 36.976

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі
Харківського державного технічного
університету (ХДТУБА) і Харківському
університету.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ
УКРАЇНИ

ЛННБ України ім.В.Стефаніка



00761060 (K)

Науковий керівник — канд. техн. наук, професор Фомін С.Л.

Офіційні опоненти — доктор. техн. наук, професор Дзюндзюк Б.В.

— канд. техн. наук, старший наук. співр.

Заславський І.Н.

Провідна організація — Харківська державна академія міського
господарства (ХДАМГ)

Захист дисертації відбудеться " 5 " березня 1997 р. о 14⁰⁰ години
на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 02.07.02 при Харківському
державному технічному університеті будівництва та архітектури за адре-
сою: 310001, м. Харків, вул. Сумська, 40.

З дисертацією можна ознайомитися у бібліотечі університету.

Відзив на автореферат у двох примірниках, завірених печаткою прохаємо
надсилати на ім'я вченого секретаря.

Автореферат разісланий " 4 " лютого 1997 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
кандидат техн. наук, доцент

Одеса-1997

Кутовий Е.М. Кутовий

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи і ступінь дослідженості тематики дисертації. Повсюдне збільшення кількості пожеж, величезні матеріальні збитки, які ними наносяться, відсутність дослідницької бази на Україні, тривалість і дорожняча вогневих іспитів залізобетонних конструкцій визначає народно - господарську важливість завдань удосконалення засобів розрахунку їх вогнестійкості.

Розрахунок вогнестійкості стислих елементів в наш час проводиться на основі принципу введення критичних температур, відповідно з яким бетон, нагрітий до температур, що не перевищують критичну, не знижує своєї міцності, а бетон, нагрітий до температур вище критичних, губить міцність і повністю виключається з роботи. Залізобетонні конструкції зменшеного розтину розраховуються згідно з діючими нормами для нормальних температур.

Забезпечення необхідних меж вогнестійкості будівельних конструкцій пов'язане з удосконаленням засобів розрахунку на основі експериментального вивчення фізико - механічних характеристик матеріалів і роботи їх елементів у процесі нагріву.

Розрахунок меж вогнестійкості стислих залізобетонних конструкцій в наш час проводиться на припущенні лінійного зв'язку між деформаціями і напруженнями.

Розроблена в ХДТУБА методика розрахунку міцності залізобетонних перетинів з урахуванням реальних законів деформування і результати дослідження впливу високотемпературного інтенсивного нагріву на характер повних діаграм " $\sigma - \epsilon$ " бетону і арматури показують, що уточнення розрахунку вогнестійкості треба шукати на шляху урахування фізичної нелінійності матеріалів.

Міцність стислих залізобетонних елементів має пріоритетне значення у вогнестійкості будови в цілому, оскільки спроможне стати при-

ЛНБ ім. В. Стефаника
АН України

4
чиною руйнування будови в цілому, в зв'язку з цим вивчення дійсної картини їх роботи при інтенсивному нагріві та опрацювання уточнюючої методики її оцінки є актуальним напрямком.

В наш час проведені дослідження реальних законів деформування матеріалів і розроблені методики розрахунку напружено - деформованого стану залізобетонних конструкцій у холодному стані, занормовані параметри вихідних діаграм " $\sigma - \epsilon$ " для різноманітних класів бетону та арматури.

Дослідження при нагріві у такій постановці не проводилися.

Відсутні методики розрахунку, що враховують різноманітні форми зв'язку " $\sigma - \epsilon$ " для різних фібр нерівномірно нагрітих перетинів елементів, не виявлено характер розподілу напружень і деформацій в перетині, критерії втрати несучої здатності в процесі нагріву та після впливу пожежі.

Обраний напрям досліджень відповідає завданням дотримання пожежної безпеки об'єктів і переліку проблем науково - технічного розвитку державної пожежної охорони МВС України на період 1995 - 2000 рр., а також плану Держбюджетної НДР України № 0026.

Метою дисертаційної роботи є розробка засобів розрахунку вогнестійкості і залишкової міцності стислих залізобетонних елементів на основі вивчення впливу нагріву на фізико - механічні характеристики бетону і арматури, дослідження розподілу температури, напружень та деформацій в їх розтинах.

Задачі дослідження:

— розробити методику розрахунку розподілу температури в перетинах залізобетонних конструкцій при односторонньому та багатосторонньому нагріві, алгоритм і програма розрахунку на IBM PC/AT;

— провести експериментальні дослідження впливу температури і вологості на теплотехнічні характеристики важкого бетону;

— провести числовий аналіз результатів розрахунку за розробле-

ними методиками;

— розробити методику дослідження міцносних та деформативних характеристик бетону при інтенсивному високотемпературном нагріві, а також пристрій для її реалізації;

— розробити методику розрахунку вогнестійкості і залишкової міцності залізобетонних конструкцій;

— провести експериментальні дослідження напружено деформованого стану центрально стислих залізобетонних елементів при дії нагріву та статичного навантаження;

— завпровадити результати роботи.

Об'єкт дослідження - центрально стислі залізобетонні елементи, їх робота при температурному режимі пожежі, у стадії близькій до руйнування.

Методологія досліджень включає використання числових засобів розв'язання нелінійних диференційних рівнянь теплопровідності, напружено деформованого стану стислих залізобетонних конструкцій у стадії, близькій до руйнування, експериментальний вияв впливу нагріву на повні діаграми "σ-ε" бетону, на основі яких розроблена методика розрахунку вогнестійкості і залишкової міцності, а також проведена експериментальна перевірка і впровадження результатів дослідження в практику.

Особисто одержані дисертантом результати, що виносяться на захист:

- методика розрахунку температурних полів у перетинах залізобетонних конструкцій при односторонньому і багатосторонньому короткочасному інтенсивному нагріві, алгоритм і програма розрахунку на ПК;

- результати експериментальних досліджень впливу нагріву на теплотехнічні характеристики важкого бетону;

- результати експериментальних досліджень впливу нагріву на повні діаграми "σ — ε" бетону;

- результати числового моделювання температурних зусиль у стислих елементах будов;
- результати експериментальних досліджень напружено деформованого стану навантажених залізобетонних елементів при нагріві;
- методика розрахунку вогнестійкості і залишкової міцності;
- впровадження розробленої методики в проектування.

В і р о г і д н і с т ь одержаних результатів підтверджується сучасним рівнем експериментальних досліджень, використанням засобів математичної статистики при обробці результатів, задовільним їх збігом із розрахунковими даними по розроблених методиках, використанням нелінійної теорії залізобетону.

Н а у к о в а н а в и з н а р о б і т и:

- розроблена уточнена методика розрахунку розподілу температури в перетинах залізобетонних конструкцій при односторонньому та багатосторонньому нагріві, алгоритм і програма розрахунку на IBM PC/AT;
- одержані експериментальні дані про вплив нагріву на коефіцієнти теплопровідності та теплоємності важкого бетону;
- проведено числовий аналіз результатів розрахунку за розробленою методикою, який виявив істотні уточнення розрахункових полів температури.
- розроблена методика дослідження впливу нагріву на повну діаграму "σ — ε" бетону, та новий важільний пристрій для її реалізації (рішення про видання патенту на винахід № 95102842/28 (004322) від 9. 07.96 р.);
- проведено числове моделювання напружено деформованого стану стислих залізобетонних елементів у складі будови при нагріві;
- розроблена методика розрахунку вогнестійкості і залишкової міцності стислих залізобетонних елементів конструкцій;
- проведені експериментальні дослідження напружено деформованого стану центрально стислих залізобетонних елементів при дії нагріву

та статичного навантаження, одержані нові дані про вплив нагріву на температурні зусилля, деформації, вогнестійкість і залишкову міцність.

Практична значимість роботи полягає у тому, що розроблена методика, алгоритми рішення і програми на ПЕОМ дозволяють підвищити точність розрахунку вогнестійкості і залишкової міцності стислих залізобетонних конструкцій, розробити раціональні конструктивні розв'язання з забезпеченою межею вогнестійкості.

Рівень реалізації, впровадження результатів роботи. Результати роботи впроваджені в проекти реконструкції будов, які постраждали від пожеж в УДПО УМВС України в Харківській області, Атоменергопроекті у проекти захисту кабелів вогнезахисними пастами і в методичні рекомендації для курсантів і слухачів ХПБ МВС України.

Апробація роботи. Основні положення дисертації представлені і обговорені на Міжнародній конференції "Совершенствование строительных материалов, технологий и методов расчета конструкций в новых экономических условиях" (м. Суми, 1994 р.), на першій Всеукраїнській науково-технічній конференції "Науково-практичні проблеми сучасного залізобетону" (Київ, 1996 р.), наукових конференціях ХДТУБА 1994 - 1996 рр.

Публікації. Основні положення дисертації опубліковані в 7 роботах.

Обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, 4 глав, загальних висновків, списку літератури із 135 найменувань. Робота містить 150 сторінок машинописного тексту, 6 таблиць і 58 рисунків.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першій главі проведено аналітичний огляд способів оцінки вогнестійкості стислих залізобетонних конструкцій.

Вогнестійкість залізобетонних конструкцій досліджувалася Буше-

вими В.П., Мурашовим В.І., Міловановим А.Ф., Романенковим І.Г., Яковлевим А.І. та ін. Дослідженню стислих залізобетонних конструкцій присвячені роботи Бамбури А.Н., Зенкова Н.І., Бондаренко В.М., Бачинського В.Я., Бушева Н.С., Барашикова А.Я., Пчелінцева А.В., Івашенко Ю.А., Льбіна Н.А., Яковлева А.І. та ін.

Межа вогнестійкості по ДСТУ 2272—93 визначається інтервалом часу від початку вогневого випробування до виникнення одного з граничних станів.

Розрахунок меж вогнестійкості складається з двох частин: тепло-технічної і статичної. В теплотехнічній частині визначається розподіл температури по перетину конструкції у процесі її нагрівання по стандартному температурному режиму.

В дослідженнях Бартелемі Б., Жукова Г.В., Льбіна Н.А., Мальхотра Х.Л., Мілованова А.Ф., Мурашова В.І., Пчелінцева В.А., Ройтмана М.Я., Романенкова І.Г., Сегалова А.Є., Сичева В.Н., Яковлева А.І. та ін. виявлено істотний вплив вологості та надмірного тиску на розподіл температури при пожежі.

Розрахунку температурно-вологісних полів в будівельних конструкціях з важкого бетону присвячені роботи Александровського С.В., Богословського В.Н., Ликова А.А., Плята Ш.Н., Ройтмана В.І., Фріда С.А., Фоміна С.Л., Яковлева А.І. Аналіз цих досліджень показує, що при інтенсивному нагріві пожежним середовищем залізобетонних конструкцій, що мають підвищену (>3%) вологість, найбільш істотними чинниками теплового переносу є наявність випарення вологи в бетоні, її фільтраційне перенесення внаслідок градієнту надмірного тиску пари. Для залізобетонних елементів з рівноваговою вологістю, що установилася, розрахунок розподілу температури може проводитися без обліку фазових переходів.

Дослідження, проведені Бушевим Н.С., Зенковим Н.І., Завісновою Л.М., Кричевським А.П., Міловановим А.Ф., Некрасовим К.Д., Олімпієвим В.Г., Фоміним С.Л., Яковлевим А.І. показують, що міцність важкого бето-

ну на осьове стиснення і осьове розтягнення при високих та підвищених температурах істотно змінюється. Дослідами встановлено, що під час нагрівання до високих температур міцність арматурної сталі знижується.

Для вияву граничного стану залізобетонних елементів при нерівномірному нагріві набуває особливого значення облік повних діаграм "σ — ε" бетону і арматури та вплив на ці діаграми нагріву.

Визначенню параметрів повної діаграми при нормальних температурах присвячені роботи Байкова В.Н., Горбатова С.В., Димітрова З.А., Голишева А.Б., Бачинського В.Я., Моріна А.Л., Бамбури А.Н., Гуці Ю.П., Лемиша Л.Л., Evans R.M., Magate M.S. та ін., на основі яких розроблені пропозиції до нормативних документів.

Внаслідок виконаного аналізу визначені і сформульовані завдання цих досліджень.

В другій главі викладені результати експериментальних досліджень теплофізичних характеристик важкого бетону при високотемпературному нагріві і розроблена уточнена методика розрахунку розподілу температури в перетинах залізобетонних елементів при одномірному і двохмірному потоці тепла внаслідок одностороннього чи багатостороннього нагріву перетину при пожежі.

Розроблено пристрій по визначенню теплотехнічних характеристик бетону при нагріві імпульсним засобом, програма розрахунку інтегральних характеристик імпульсного методу, статистичної оцінки результатів.

Експериментально досліджено теплотехнічні характеристики важкого бетону в залежності від температури t і вологи W .

Запропоновані слідувачі емпіричні формули при середньоквадратичному відхиленні $\Sigma_c = 0.0002$ и $\Sigma_\lambda = 0.0028$:

$$\lambda = 1.37(1 + 0.175W - 0.016W^2)(1 - 0.000277t) \quad (1)$$

$$C = 0.83(1 + 0.077W - 0.0007W^2)(1 + 0.001t) \quad (2)$$

При нормальній вологості оцінку вогнестійкості доцільно проводити, використовуючи квазілінійне диференційне рівняння теплопроводності і

точні аналітичні засоби рішення. Розглянуто рішення одномерної задачі теплопровідності з граничними умовами III роду і з довільною залежністю температури зовнішнього середовища від часу, зокрема, при стандартній пожежі.

Проведено аналіз рішення для режиму стандартної пожежі показує, що результати при великих значеннях критерію Фурье достатньо близько співпадають з рішенням по методці ВНДПО, тобто при рішенні лінійного рівняння Фурье з введенням фіктивного слою.

При малих значеннях критерію Фурье спостерігається розходження, пов'язане з утриманням при розв'язанні обмеженого числа членів ряду.

Існуючі графіки і номограми збудовані, як правило, на таблицях коренів характеристичних рівнянь і амплітуд, які вираховували в літературі для 6-ти членів ряду.

З метою збільшення точності розроблена методика рішення двумірної задачі з наперед заданою величиною точності. Особливість рішення полягає у виконанні циклу підсумовування такого порядку, що необхідно для забезпечення заданої точності. Рішення подано у вигляді:

$$T = \frac{t(x, y, \tau) - t_{\text{ext}}}{t_0 - t_{\text{ext}}} = \sum_n \sum_j A_n A_j \cos(\mu_n D) \cos(\mu_j G) \exp[-\mu_n^2 Fo_x] \exp[-\mu_j^2 Fo_y] \quad (3)$$

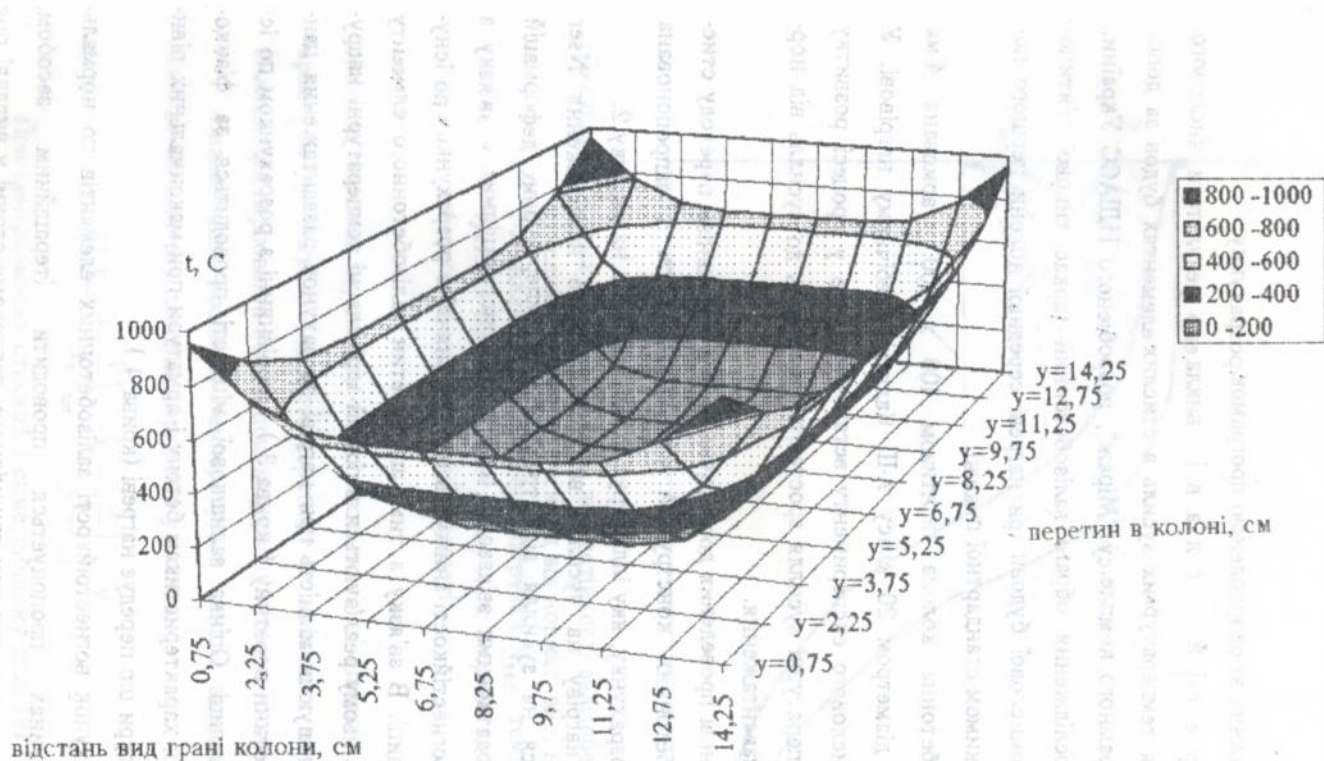
де $\mu_n = (2n-1) \frac{\pi}{2}; \quad A_n = (-1)^{n+1} \cdot \frac{2}{\mu_n};$

$$Fo_x = \frac{a \cdot \tau}{(h + \delta_f)^2}; \quad D = \frac{x}{h + \delta_f}; \quad Fo_y = \frac{a \cdot \tau}{(L + \delta_f)^2}; \quad G = \frac{y}{L + \delta_f}$$

Рішення (3) реалізовано на IBM PC/AT в середовищі програмування Excel For Windows.

Зіставлення результатів розрахунку з експериментальними даними показує достатню для практики точність одержаного рішення.

На рисунку 1 показано температурне поле в прямокутному перетині



відстань від грані колонни, см

Рисунок 1 - Розподіл температури в перетинах колонни 400 x 400 при нагріві протягом 1,5 години

колони, одержане за розробленою програмою розрахунку.

В третій главі викладено результати числового моделювання температурних зусиль в стислих елементах будов за допомогою програмного комплексу "Міраж", розробленого НДІАСС України. Об'єктом дослідження обрали залізобетонний каркас типової п'ятиповерхової промислової будови при нагріві середньої колони першого поверху за режимом стандартної пожежі.

Залізобетонна колона перетином 400 х 400 армована 4-ма стрижнями діаметром 20 класу А-III підлягає всебічному нагрівові. У результаті числового експерименту встановлено, що у процесі розвитку пожежі температурні зусилля зростають, доводяться до зусиль від нормативного навантаження.

На основі проведених досліджень виявлено механізм переходу стислих залізобетонних конструкцій у граничний стан і запропонована методика розрахунку, яку ілюструє схема, наведена на рисунку 2.

В процесі нагріву на зусилля від нормативного навантаження N_{ser} накладаються на зусилля від стримування температурних деформацій елемента додатковими зв'язками (сусідніми конструкціями), у зв'язку з чим межа вогнестійкості знижується у порівнянні з розрахунком по існуючій методиці. В зв'язку з тим, що перетин залізобетонного елемента стиснуто, в ньому реалізуються в повній мірі власні температурні напруження, збільшуючи міцність при нагріві за рахунок развантаження центральної частини перетину (крива 3) у порівнянні з розрахунком по існуючій методиці. Оцінка залишкової міцності проводиться за фізико-механічними характеристикам бетону і арматури при максимальних рівнях температури що передуює нагріві (крива 4).

Розрахунок вогнестійкості залізобетонних елементів по нормальних перетинах пропонується проводити ітераційним засобом, дискретизуючи перетин при двохмірному тепловому струмі у вигляді прямих елементів з урахуванням наступних передумов: - приймається

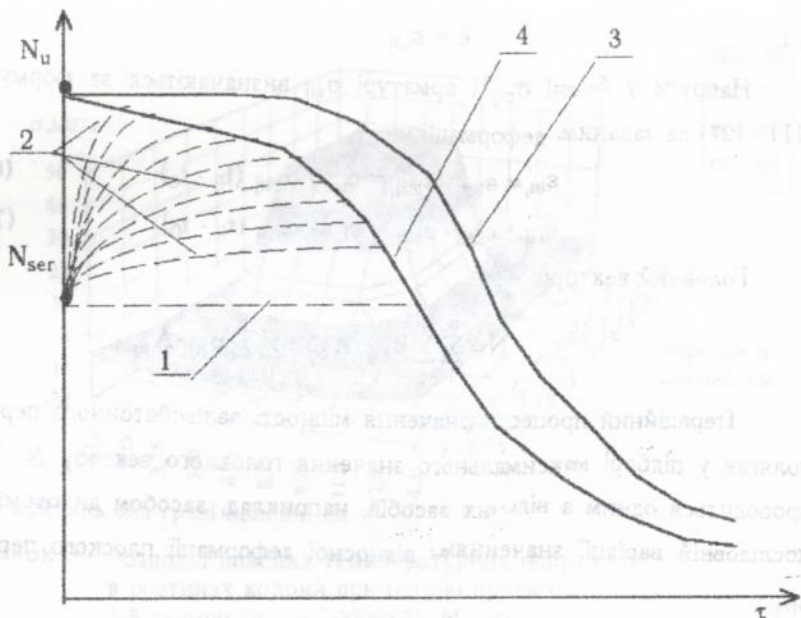


Рисунок 2 - Схема розрахунку межі вогнестійкості залізобетонних стислих елементів: 1-зусилля від нормативної навантаження; 2-зусилля від нормативної навантаження N_{ser} і температурні зусилля від додаткових сполучень; 3-крива зміни міцності; 4-крива зміни залишкової міцності.

гіпотеза плоских перетинів; - приймаються повні діаграми "σ-ε" бетону і арматури при нагріві; - міцність перетину визначається максимальним зусиллям при варіюванні величиною деформацій плоского перетину.

Визначивши розподіл температур в центрі ваги цих елементів, приймаємо гіпотезу плоских перетинів у вигляді:

$$\epsilon = \epsilon_{tot} + \left(\frac{1}{r_x} \right)_{tot} \cdot x_i + \left(\frac{1}{r_y} \right)_{tot} \cdot y_j \quad (4)$$

При центральному стиску і симетричному полі (4) перетворюється у рівняння:

$$\varepsilon = \varepsilon_{\text{tot}} \quad (5)$$

Напруги у бетоні σ_{bij} і арматурі σ_{sij} визначаються за формулами (11) - (27) за заданим деформаціями:

$$\varepsilon_{bij} = \varepsilon_{\text{tot}} \cdot \alpha_{btij} = \varepsilon_{\text{tot}} \cdot \alpha_{btij} (t_{ij} - t_0) \quad (6)$$

$$\varepsilon_{sij} = \varepsilon_{\text{tot}} \cdot \alpha_{stij} = \varepsilon_{\text{tot}} \cdot \alpha_{stij} (t_{ij} - t_0) \quad (7)$$

Головний вектор:

$$N = \sum_i^n \sum_j^m \sigma_{bij} \cdot A_{bij} + \sum_i^k \sum_j^p \sigma_{sij} \cdot A_{sij} \quad (8)$$

Ітераційний процес визначення міцності залізобетонного перетину полягає у підборі максимального значення головного вектору N . Підбір проводиться одним з відомих засобів, наприклад, засобом дихотомії, при послідовній варіації значення відносної деформації плоского перетину ε_{tot} .

Власні температурні напруження в бетоні і арматурі визначаються деформаціями плоского перетину, при яких зусилля в колоні дорівнює нулю ($N = 0$).

При розрахунку залишкової міцності приймається гіпотеза про рівність міцності бетону і арматури при нагріві і міцності після нагріву і охолодження.

Залишкова міцність визначається за формулами (4) - (8) у яких напруги в бетоні і арматурі подраховуються за деформаціями:

$$\varepsilon_{bij} = \varepsilon_{\text{tot}} \quad (9)$$

$$\varepsilon_{sij} = \varepsilon_{\text{tot}} \quad (10)$$

По розробленому алгоритму складена програма "KOLONNA" у табличному процесорі Excel for Windows на IBM PC/AT. На рисунках 3 і 4 показано розподіл власних температурних напружень і сумарних напружень в перетині колони при навантаженні і нагріві, одержаних по розробленій програмі.

В четвортій главі викладено результати експерименталь-

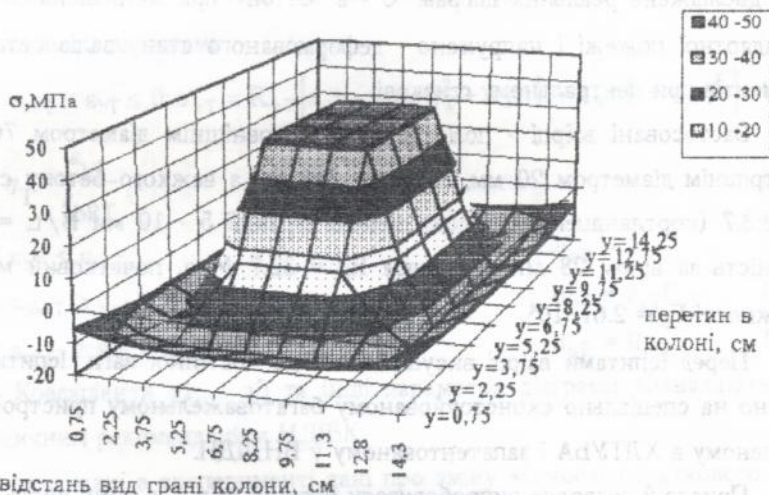


Рисунок 3 - Розподіл власних температурних напружень в розтинах колоні при нагріві протягом 1.5 години ($\epsilon_{\text{tot}} = 0.0006871$, $N = 0$)

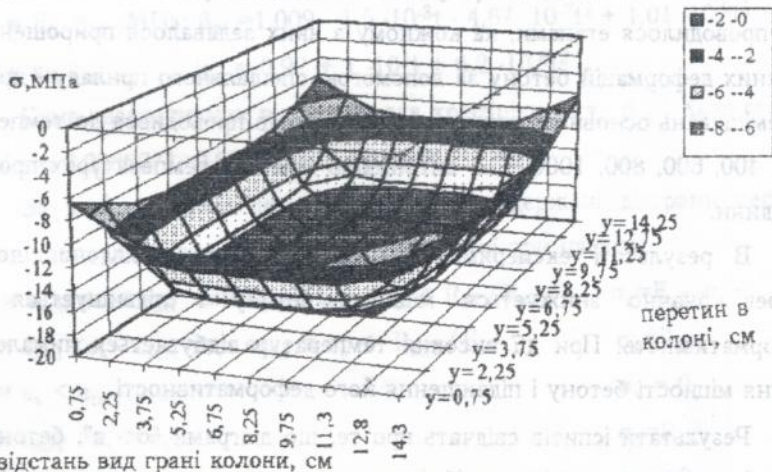


Рисунок 4 - Розподіл напружень в розтинах колоні при навантаженні і нагріві протягом 1.5 години з урахуванням власних температурних напружень ($\epsilon_{\text{tot}} = -0.00136$, $N = 2178.32 \text{ кН}$)

них досліджень реальних діаграм "σ - ε" бетону при нагріві по режиму стандартної пожежі і напружено - деформованого стану залізобетонних елементів при центральному стискові.

Застосовані взірці - полі циліндри з зовнішнім діаметром 70 мм, внутрішнім діаметром 20 мм, висотою 350 мм з важкого бетону складу 1:2.3:3.7 (портландцемент, пісок, щебень фракції 5 - 10 мм В/ц = 0,6). Міцність за віком 28 днів дорівнює $R_b = 32.7$ Мпа, початковий модуль пружності $E_b = 2.61 \cdot 10^4$.

Перед іспитами взірці висушувались до постійної ваги. Испити проведено на спеціально сконструйованому багатоважельному пристрої, розробленому в ХДТУБА і запатентованому у ВНДДП.

Пристрій дозволяє випробовувати бетонні взірці, в тому числі у вигляді полих циліндрів при нагріві з внутрішньої і зовнішньої сторони.

Виміри проводилися трьома тензометрами на базі індикаторів з ціною поділки 0.001 мм, вимір зусиль - тензоциліндром. Завантаження взірця проводилося етапами, на кожному з яких задавалося прирощення відносних деформацій бетону за допомогою спеціального приладу - приводу переміщувань основного важеля. Нагрів взірців проводився до температур 200, 400, 600, 800, 1000 °С з витримкою при цих температурах протягом 1 години.

В результаті експериментальних досліджень виявлено, що при нагріві значно знижується міцність бетону і підвищується його деформативність. При дії високих температур відбувається чимале зниження міцності бетону і підвищення його деформативності.

Результати іспитів свідчать про те, що діаграми "σ - ε", бетону при впливі температур афіноподібні, що дозволяє використати найбільш значимі результати нормування повних діаграм деформування бетону одержаних НДІБКом, зберегти дані по коефіцієнтах поліному 5-го порядку, що описує повну діаграму, вводючи лише одержані з іспитів залежності параметрів R_{bt} , E_{bt} , $\epsilon_{r_{bt}}$ від температури.

Таким чином, діаграма " $\sigma - \epsilon$ " бетону при нагріві буде описуватися наступними рівняннями

$$\text{при } \epsilon_{buT} \leq \epsilon_{bT} \leq 0: \sigma_{bT} = R_{bT} \left[a_1 \eta_T + a_2 \eta_T^2 + a_3 \eta_T^3 + a_4 \eta_T^4 + a_5 \eta_T^5 \right] \quad (11)$$

$$\text{де } \eta_T = \frac{\epsilon_{bT}}{\epsilon_{bRT}} \quad (12)$$

$$\text{при } \epsilon_{bT} < \epsilon_{buT} \quad \sigma_{bT} = 0 \quad (13)$$

$$\text{при } \epsilon_{bRT} \geq \epsilon_{bT} \geq 0 \quad \sigma_{bT} = \epsilon_{bT} E_{bT} \quad (14)$$

$$\text{при } \epsilon_{buT} \geq \epsilon_{bT} \geq \epsilon_{bRT} \quad \sigma_{bT} = R_{bT} \quad (15)$$

Коефіцієнти a_1, \dots, a_5 та інші параметри діаграми визначаються за методичним рекомендаціям НДБК.

Одержані в експерименті дані про зміну міцності початкового модуля пружності і граничного стискування (рисунок 5, і 6) апроксимовані наступними емпіричними формулами:

$$R_{bt} = R_b \cdot \gamma_{bt} \text{ МПа; } \gamma_{bt} = 1.003 + 4 \cdot 10^{-4} t - 2.4 \cdot 10^{-6} t^2 + 1.35 \cdot 10^{-9} t^3 \quad (17)$$

$$E_{bt} = E_b \cdot \beta_{bt} \text{ МПа; } \beta_{bt} = 1.009 - 1.5 \cdot 10^{-3} t - 4.67 \cdot 10^{-7} t^2 + 1.01 \cdot 10^{-9} t^3 \quad (18)$$

$$\epsilon_{Rt} = \epsilon_R k_{bt}; \quad k_{bt} = 0.92 + 1 \cdot 10^{-3} t + 6.2 \cdot 10^{-6} t^2 \quad (19)$$

Сума квадратичних відхилень для коефіцієнтів γ_t, β_{bt} і k_b складає відповідно 0.0286071, 0.0020217, 4.1823086.

За нормативними даними аналогічно одержані діаграми деформування арматури з фізичною межею плинності при нагріві:

$$\text{При } \epsilon_{scR} < \epsilon_s < \epsilon_{sR} \text{ или } R_{scT}/E_{sT} < \epsilon_s < R_{sT}/E_{sT}; \quad \sigma_s = E_{sT} \cdot \epsilon_s \quad (20)$$

$$\text{при } \epsilon_{scu} < \epsilon_s < \epsilon_{scR} \text{ или } \epsilon_{buT} < \epsilon_s < R_{scT}/E_{sT}; \quad \sigma_s = R_{scT} \quad (21)$$

$$\text{при } \epsilon_s < \epsilon_{buT} \quad \sigma_s = 0 \quad (22)$$

$$\text{при } \epsilon_{suT} > \epsilon_s > \epsilon_{sRT} \quad \sigma_s = R_{sT} \quad (23)$$

$$\text{при } \epsilon_s > \epsilon_{buT} \quad \sigma_s = 0 \quad (24)$$

$$\text{де при } 20 \text{ } ^\circ\text{C} \leq t \leq 400 \text{ } ^\circ\text{C} \quad R_{sT} = R_s \quad (25)$$

$$\text{при } 400 \text{ } ^\circ\text{C} \leq t \leq 800 \text{ } ^\circ\text{C}; \quad \text{при } t > 800 \text{ } ^\circ\text{C} \quad \gamma_{st} = 0$$

$$R_{sT} = \gamma_s \cdot R_s = (-0.61 + 1.26 \cdot 10^{-2} t - 2.81 \cdot 10^{-5} t^2 + 1.651 \cdot 10^{-8} t^3) R_s \quad (26)$$

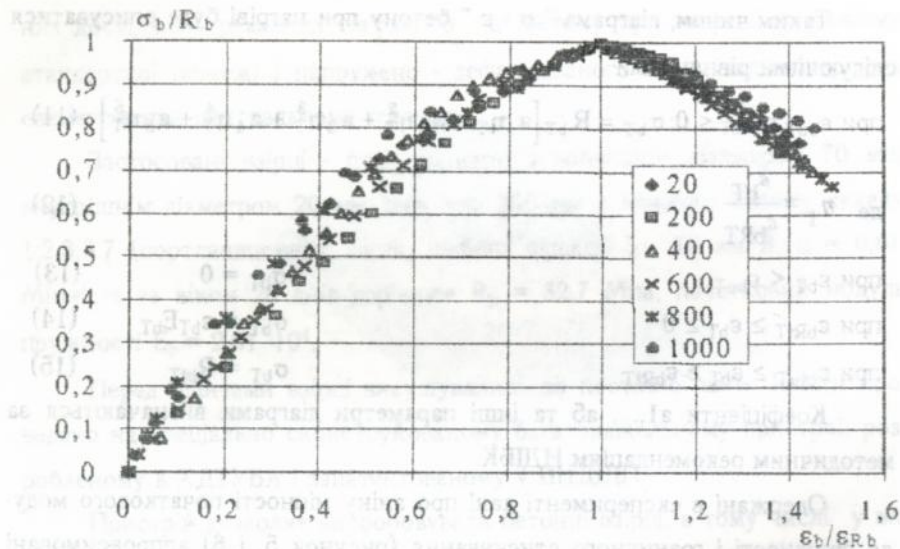


Рисунок 5 - Діаграма "σ—ε" бетону при різних температурах у безрозмірному вигляді

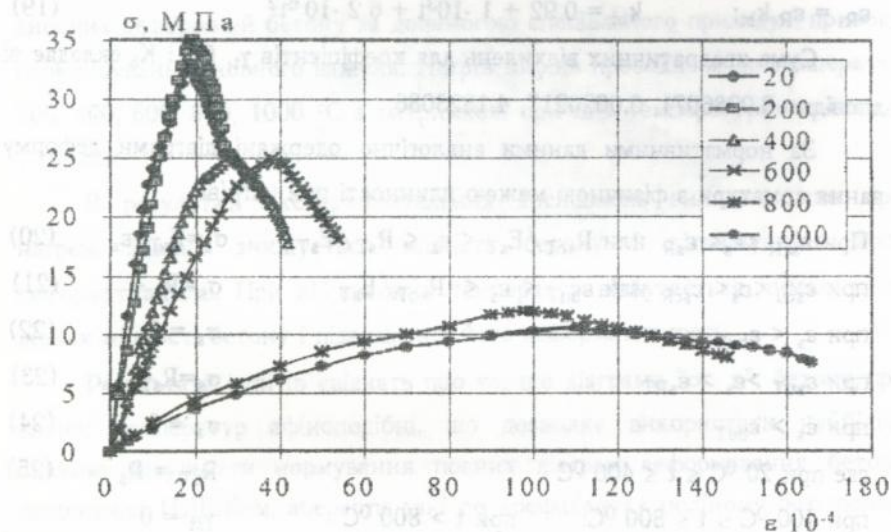


Рисунок 6 - Діаграма "σ—ε" бетону при різних температурах нагріву

$$E_{sT} = E_s \cdot \beta_s = (1.01 \cdot 6.436 \cdot 10^{-4}t + 1.1 \cdot 10^{-6}t^2 + 1.3 \cdot 10^{-9}t^3)E_s \quad (27)$$

Експериментальні дослідження напружено - деформованого стану проводилися на залізобетонних колонах 150 x 150 x 600 мм. армованих 4d8 А-III, 4-ма серіями по три зрізця: 1 - в холодному стані; 2 - після впливу нагріву за режимом стандартної пожежі протягом 1, 2 і 3 годин; 3 - навантаження прикладалося в гарячому стані після нагріву протягом 1 години, а також в гарячому стані після нагріву до 2-х годин; 4 - зрізці спочатку навантажували напруженням $\sigma = 0.7R_b$ (40т.), а після цього нагрівали і через 1 годину нагріву доводили до руйнування.

Нагрів проводився у раздвижній муфельній печі, температура вимірювалася 12 хромельалюмелевими термопарами і фіксувалася 12-ти точечним самопишущим потенціометром КСП-2. Испити проводилися на гЧ-равлічному пресі ПСУ-500. Деформації заміряли тензометрами.

Міцність під час іспитів нагрітих зрізців знизилася і складала: - при одній годині нагріву 11%; - при 2-х годинах 14%; при 3-х годинах 57%. При іспитах другої серії, спочатку нагрів, а потім навантаження, одержано зменшення зниження міцності: - для однієї години 7%; - для 2-х годин 11%, тобто деяке збільшення міцності порівняно з зрізцями після нагріву, що пояснюється виникненням невеликих значень власних напружень, які знижують навантаження в середній частині перетину.

При нагріві навантажених зрізців, зниження міцності не виявлено.

Деформативність зрізців при цьому збільшилася у 2.5 рази. Це збільшення міцності носить тимчасовий характер і зникає у процесі охолодження, що може привести до руйнування центрально стислого елемента після його охолодження.

Внаслідок експериментів виявлено особливості напружено-деформованого стану, підтверджено результати, одержані по розробленій методиці, прийняті розрахункові передумови.

Розрахункові значення міцності по розробленій методиці мають задовільну збіжність з результатами іспитів.

1. Розроблено прилад по визначенню теплотехнічних характеристик бетону при підвищених і високих температурах імпульсним засобом і програма в табличному процесорі Excel for Windows для визначення інтегральних характеристик імпульсного засобу. Програма передбачає також проведення статистичної оцінки одержаних результатів.
2. Розроблена уточнена методика розподілу температурного поля у перетині залізобетонних елементів при односторонньому і багатосторонньому нагріві, що дозволить проводити обчислення з наперед заданою точністю. Для найбільш поширеної прямокутної форми поперечного перетину на основі відомих рішень для одномірного струму і прийому перемноження рішень складена програма на ІВМ.
3. Одержані експериментальні залежності до теплопроводності, теплоємності і температуропроводності важкого бетону залежно від температури і вологості.
4. Виявлено закономірності деформативності бетону при інтенсивному високотемпературному нагріві. Встановлено, що при високотемпературному нагріві знижується міцність і збільшується деформативність бетону. На основі результатів експериментів запропоновані емпіричні формули для визначення коефіцієнту умов роботи бетону при стисковій і нагріві γ_t , коефіцієнту β_{bt} , що враховує зниження початкового модуля пружності при напруженні, коефіцієнту K_b , що враховує збільшення граничного стискування при нагріві.
5. Підтверджено висновок ХДТУБА про афінноподібність діаграм " $\sigma - \epsilon$ " при різноманітних температурах, що дозволяє використати існуючі результати нормування повних діаграм деформування бетону, отриманих НДБКом, де вони описуються поліномом 5-го ступеня.
6. Створено рычажний пристрій для іспитів міцносних і деформативних характеристик бетону при високотемпературном нагріві, що дозволяє проводити іспити по різноманітних режимах, в тому числі і

релаксаційному і дає можливість одержати повну діаграму "σ-ε" (рішення про надання патенту на винахід № 95102842/28 (004322) від 9.07.96 р.);

7. Розроблена методика розрахунку вогнестійкості і залишкової міцності стислих залізобетонних конструкцій по нормальних перетинах, яка ґрунтується на обліку реальних законів деформування при нагріві. Розроблена програма розрахунку вогнестійкості і залишкової міцності "KOLONNA" на IBM PC/AT у табличному процесорі Excel For Windows.

8. Експериментально виявлено закономірності розподілу температури в залізобетонних елементах при інтенсивному нагріві, напружено-деформований стан в залізобетонних елементах при сумісній дії температури і центрального стиску.

9. Виявлено, що при нагріві істотно проявляється нелінійність між напруженнями і деформаціями. Виявлено закономірність зміни залишкової міцності залізобетонних елементів залежно від температури, що передує нагрівові, мінливість залишкової міцності в залежності від тривалості пожежі і зміна міцності при одночасному впливі навантаження і температури. Встановлено, що власні температурні напруження, які виникають під час нагріву підвищують несучу здатність за рахунок зниження величини стискуючих напружень в центральній частині перетину стислого елемента. Зазначене збільшення міцності носить тимчасовий характер і зникає у процесі охолодження, що може привести до випадку руйнування центрально стислих елементів після їх охолодження.

10. Результати досліджень мають задовільний збіг з розрахунком за розробленою методикою.

Основні положення дисертації опубліковані у слідуючих роботах:

1. Исследование теплофизических характеристик бетона и неметаллической арматуры при высокотемпературном нагреве. Фомин С.Л., Кулешов Н.Н., Стельмах О.А. Материалы международной научно-практической конференции "Совершенствование строительных материалов, технологий и методов расчета конструкций в новых экономических условиях". Сумы, 1994, с. 81.
2. Расчет огнестойкости железобетонных конструкций с учетом полной диаграммы "σ - ε". Фомин С.Л., Кулешов Н.Н., Стельмах О.А. Сборник

"Проблемы пожарной безопасности" МВД Украины. Киев, 1995, с.338-340

3. Огнестойкость центрально - сжатых железобетонных элементов. Фомин С.Л., Стельмах О.А., Джафар Шакер Шакин. Сборник "Пожарная безопасность. Организационно техническое обеспечение" ХИПБ МВД Украины. Харьков.1996, с.78-81

4. Огнестойкость неразрезных железобетонных элементов перекрытий. Фомин С.Л., Джафар Шакер Шакин., Стельмах О.А. Сборник "Пожарная безопасность. Организационно техническое обеспечение" ХИПБ МВД Украины. Харьков.1996, с.82-84

5. Огнестойкость сжатых, изгибаемых и неразрезных железобетонных элементов. Фомин С.Л., Джафар Шакер Шакин., Стельмах О.А. Первая всеукраинская научно - техническая конференция "Научно - практические проблемы современного железобетона". Киев, 1996, с 186-189

6. Экспериментальные установки для исследования строительных конструкций в условиях пожара. Фомин С.Л., Кулешов Н.Н., Тулер В.Л., Стельмах О.А. Тезисы докладов 49-й научно-технической конференции "Повышение эффективности строительства". Харьков, ХИСИ, 1994, с.65

7. Прочность центрально сжатых железобетонных элементов при интенсивном высокотемпературном нагреве. Стельмах О.А. Тезисы докладов 51-й научно-технической конференции. Харьков, ХГТУСА, 1996, с.78

АННОТАЦИЯ

Стельмах О.А. Огнестойкость и остаточная прочность сжатых железобетонных элементов.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.26.02 — пожарная безопасность и 05.23.01 — строительные конструкции, здания с сооружения, Харьковский государственный технический университет строительства и архитектуры, Харьков, 1996.

Защищается рукопись, содержащая разработку методов оценки огнестойкости и остаточной прочности центрально сжатых железобетонных конструкций на основе экспериментального изучения влияния высокотемпературного интенсивного нагрева на полные диаграммы "σ-ε" бетона, закономерностей работы статически неопределимых железобетонных конструкций.

Предложены алгоритмы расчета распределения температуры при

двумерном потоке тепла с учетом зависимостей теплофизических характеристик от температуры и фазовых превращений; расчета прочности при нагреве и после охлаждения с учетом физической нелинейности бетона и арматуры, по которым составлены программы расчета на ПК.

Результаты работы внедрены при реконструкции зданий пострадавших от пожара в УТПО УМВД Украины в Харьковской области, в учебное пособие для курсантов и слушателей, обучающихся по специальности "Пожарная безопасность".

Ключевые слова : температурное поле при пожаре, центрально сжатые элементы, полные диаграммы "σ-ε" бетона и арматуры при нагреве, огнестойкость, остаточная прочность.

ANNOTATION

Stelmah O.A. Fire-resistance and residual strength of compressed ferro-concrete elements.

This qualification work is given for applying the Degree of Magister of Technical Science on speciality 05.26.02 - Fire Safety and 05.26.01 - Building members, constructions and buildings. Kharkov State Technical University of Building and Architecture, Kharkov 1996.

There is the manuscript to be discussed which deals with describing of methods of estimation for fire-resistant and residual strength of centrally compressed ferro-concrete elements, based on experimental studying of influence of high temperature intensive heating on the full diagrams "σ-ε" of concrete, the regularity of work of indefinable statically non-defined ferro-concrete elements.

The algorithm of calculating of temperatures distribution in double-measured stream of heat with consideration of heat-physical characteristics' dependences from temperature and phases conversions; strength's account in heating and after cooling with accounting of physical nonlinear concrete and reinforcement, according to which ABM PC/AT programs are made.

447346

The results of this work have buildings of Ukraine and Kharkiv region speciality "Fire Safety".

Key words: a temperature field at a fire, centrally compressed ferro-concrete elements, complete diagrams "s-e" a concrete and fixture at heating, limiting condition continuous of designs, fire-staunsh, residual strength.

Підписано до друку 15.01.97 Др.аркушів 1,5 Тир. 100

Ум.друк.аркуш. 1,3. Формат аркуша 60x85/16 Зам. 21/37-97

Друкарня ХІПБ