

**ХАРКІВСЬКА ДЕРЖАВНА АКАДЕМІЯ
ЗАЛІЗНИЧНОГО ТРАНСПОРТУ**

ЕЛЬ МУТАССІМ ЛАРБІ

УДК 624.012.3:699.812

**ВОГНЕСТІЙКІСТЬ МОНОЛІТНИХ ЗАЛІЗОБЕТОННИХ
КОНСТРУКЦІЙ БУДІВЕЛЬ**

05.23.01 - будівельні конструкції, будівлі та споруди

АВТОРЕФЕРАТ

дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків - 2001

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі залізобетонних та кам'яних конструкцій Харківського державного технічного університету будівництва та архітектури Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник

доктор технічних наук, професор
Фомін Станіслав Леонідович,
професор кафедри залізобетонних та
кам'яних конструкцій Харківського
державного технічного університету
будівництва та архітектури.

Офіційні опоненти:

доктор технічних наук, професор
Кричевський Олександр Павлович,
професор кафедри залізобетонних
конструкцій Донбаської державної
академії будівництва і архітектури;

Кандидат технічних наук, доцент
Кулешов Микола Миколайович,
перший проректор з навчальної роботи
Академії пожежної безпеки України.

Провідна установа:

Харківська державна академія
міського господарства, кафедра будівельних
конструкцій Міністерства
освіти і науки України, м. Харків.

Захист відбудеться « 27 » червня 2001 р. о 12⁰⁰ годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д.64.820.02 Харківської державної академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майд. Фейербаха, 7.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківської державної академії залізничного транспорту за адресою: 61050, м. Харків, майд. Фейербаха, 7.

Автореферат розісланий « » травня 2001 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради,
кандидат технічних наук, доцент

Єрмак Є. М.

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Монолітні залізобетонні конструкції знайшли широке розповсюдження в будівельній світовій практиці. Під впливом високої температури при пожежі міцність залізобетонних конструкцій знижується, а іноді відбувається їхнє руйнування, у зв'язку з чим забезпечення необхідної межі вогнестійкості залізобетонних конструкцій є однією з найважливіших задач багатьох країн світу.

Гармонізація нормативної бази будівельного комплексу України з Єврокодом привела до переходу на нові види арматури для залізобетонних конструкцій - арматурний прокат (А). Як поведуться нові класи арматури в процесі нагрівання невідомо, у зв'язку з чим поставлена задача експериментального виявлення повних діаграм « σ - ϵ » при різних температурах. Необхідна розробка рекомендацій з використання в залізобетонних конструкціях термічно зміцненої арматури класу А500С, що зварюється, і розробка ефективних залізобетонних конструкцій з новими видами арматури класів (А), що працюють в умовах нормальних, підвищених і високих температур, методик їхнього розрахунку.

Актуальність поставленої теми обумовлюється потребою розробки нормативної бази, недостатньою вивченістю роботи статично невизначених залізобетонних конструкцій, у тому числі з новими видами арматури, при підвищених і високих температурах, особливо при впливі високоінтенсивного нагрівання при пожежі, необхідністю розробки нових ефективних конструкцій із забезпеченою межею вогнестійкості, оцінкою залишкової міцності залізобетонних елементів після пожежі.

Обрана тема дисертаційної роботи сприяє вирішенню актуальної для України проблеми профілактики пожежної безпеки і відповідає пріоритетним напрямкам розвитку науки і техніки, визначених Верховною Радою України.

Зв'язок роботи з науковими програмами. Робота виконувалася відповідно до координаційного плану науково-дослідних робіт (міжвузовських наукових і науково-технічних програм) на 1997-1999 роки по держбюджетній темі № 0037 "Розробка посиленних залізобетонних конструкцій після впливу технологічних температур і пожежі" і держбюджетній темі №.0060 «Дослідження залізобетонних конструкцій з новими видами термічно зміцненої зварювальної арматури, що працює в умовах нормальних, підвищених та високих температур».

Метою дослідження є удосконалювання методів розрахунку монолітних конструкцій з урахуванням оцінки їхньої вогнестійкості і залишкової міцності.

Основні задачі дослідження.

1. Розробити методика дослідження повних діаграм " σ - ϵ " нових видів термічно зміцненої арматури (А) і провести експериментальні дослідження міцнісних і деформативних характеристик арматури класу А500С при нагріванні.

2. Виявити доцільність додаткового деформаційного зміцнення арматури класу А500С.

3. Розробити методика чисельного моделювання температурних полів у перерізах основних елементів залізобетонних конструкцій будівель при односторонньому, тристоронньому і чотиристоронньому нагріванні і розробити

вихідні дані для розрахунку несучої здатності каркасних статично невизначених залізобетонних будівель на сучасних програмних комплексах.

4. Розробити методика розрахунку вогнестійкості монолітних каркасних будівель з урахуванням фізичної нелінійності бетону і арматури при нагріванні й охолодженні.

5. Провести за розробленою методикою чисельні дослідження напружено-деформованого стану статично невизначених залізобетонних конструкцій з урахуванням впливу локального нагрівання на міцність сусідніх елементів, впливу обсягу вогнищ пожежі, їхнього розташування, розрахункових схем каркасів, їхньої просторової роботи.

6. Розробити оптимальні з погляду вогнестійкості розрахункові схеми багатоповерхових будівель.

7. Провести експериментальні дослідження напружено-деформованого стану статично невизначених залізобетонних конструкцій.

8. Розробити пропозиції з розрахунку вогнестійкості монолітних залізобетонних конструкцій з новими видами арматури.

Об'єкт дослідження – вогнестійкість монолітних залізобетонних конструкцій будівель.

Предмет дослідження - статично невизначені залізобетонні конструкції будівель, їхня робота при температурному режимі пожежі в стадії, близькій до руйнування.

Методи дослідження – розробка методів розрахунку несучої здатності статично невизначених залізобетонних конструкцій на основі рішення нелінійних рівнянь теплопровідності, обліку фізичної нелінійності бетону й арматури при нагріванні, застосування чисельних досліджень і натурних вогневих випробувань.

Наукова новизна роботи:

- показано, що наведені в нормативних документах дані про коефіцієнти умов роботи арматури γ_{st} і коефіцієнти зниження модуля пружності бетону β_{bt} від температури не погоджені, що приводить до істотних погрішностей у розрахунках. Визначено умову, що забезпечує зниження міцності і підвищення деформативності арматури при нагріванні;

- розроблена методика дослідження повних діаграм "σ-ε" арматури; запропонована і виготовлена нова установка, що дозволяє проводити випробування по різних режимах, у тому числі по релаксаційному, визначати повні діаграми «напруження - деформації» арматури зі спадною гілкою при підвищених і високих температурах;

- розроблена методика масштабування машинних діаграм, що дає можливість використання існуючих гідравлічних пресів для визначення повних відносних подовжень при максимальному навантаженні δ_{max} , що відповідають тимчасовому опору σ_y ;

- отримані результати експериментальних досліджень міцнісних і деформативних характеристик арматури класів А500С при нагріванні;

- проведено дослідження доцільності додаткового деформаційного зміцнення арматури класу А500С. Установлено, що деформаційне зміцнення стержневої

арматури серповидного профілю класу А500С з витяжкою до контрольованого подовження 3 % збільшує міцність до 14 %;

- розроблена методика і проведена чисельне моделювання температурних полів у перерізах основних елементів залізобетонних конструкцій будівель при односторонньому, тристоронньому і чотирісторонньому нагріванні і стандартному температурному режимі пожежі. Отримано дані для розрахунку несучої здатності каркасних статично невизначних залізобетонних будівель на сучасних програмних комплексах. Надані графіки розподілу температури в поперечних переріз колон і ригелів найбільш розповсюджених розмірів;

- розроблена методика розрахунку напружено-деформованого стану статично невизначних залізобетонних конструкцій при пожежі. Проведено чисельне моделювання зусиль і переміщень у монолітних каркасних багатопверхових будинках з використанням ПК Ліра Windows. Досліджено вплив розташування й обсягу вогнищ пожежі на формування зусиль у процесі розвитку пожежі в плоскій і просторовій рамній системах з урахуванням фізичної нелінійності. Розроблено конструктивні рішення, мінімізуючі температурні зусилля при пожежі;

- отримані результати експериментальних досліджень напружено-деформованого стану статично невизначних залізобетонних конструкцій;

- розроблені пропозиції з розрахунку вогнестійкості монолітних залізобетонних конструкцій з новими видами арматури.

Практичне значення отриманих результатів полягає в тому, що розроблена методика, алгоритми рішення і програми на ПЕОМ дозволяють підвищити точність розрахунку монолітних залізобетонних конструкцій, розробити раціональні конструктивні рішення з забезпеченою межею вогнестійкості.

Впровадження роботи. Результати роботи впроваджені при розробці нової серії попередньо напружених залізобетонних 9-ти метрових пустотних плит, армованих стержневою арматурою класу А500С і А400С, вивчення міцності стиків, що зварюються, і спільної роботи з бетоном на ЗБК-5 м. Харкова; використані при підготовці інструктивних документів і в методичних рекомендаціях для курсантів і слухачів ХАПБ МВС України.

Особистий внесок здобувача визначається:

- розробкою методики дослідження міцнісних і деформативних характеристик арматури і нової установки, що дозволяє визначати повну діаграму деформування арматури зі спадною гілкою при підвищених і високих температурах;

- експериментальними дослідженнями характеристик нового виду арматури класу А500С при нагріванні; доцільності додаткового деформаційного зміцнення арматури класів А500С і А400С;

- розробкою методики чисельного моделювання температурних полів у перерізах основних елементів залізобетонних конструкцій будівель і вихідних даних для розрахунку несучої здатності каркасних статично невизначних залізобетонних будівель на сучасних програмних комплексах;

- розробкою методики розрахунку вогнестійкості монолітних каркасних будівель з урахуванням фізичної нелінійності бетону і арматури при нагріванні й охолодженні;

- аналізом впливу локального нагрівання на міцність сусідніх елементів, впливу обсягу вогнищ пожежі, їхнього розташування, розрахункових схем каркасів статично невизначених залізобетонних конструкцій, їхньої просторової роботи;
- експериментальними дослідженнями напружено-деформованого стану статично невизначених залізобетонних конструкцій.

Апробація роботи. Основні результати роботи доповідалися на другій Всеукраїнській науково-технічній конференції “Науково-практичні проблеми сучасного залізобетону” (Київ, 1999р.), наукових конференціях ХДТУБА 1995 - 2001 р.

Публікації. Основний зміст роботи опублікований у 6 друкованих працях.

Структура й обсяг роботи. Дисертація складається з вступу, 5 розділів, що включають експериментальну і теоретичну частини, висновків, списку використаних джерел з 127 найменувань і 2-х додатків. Вона містить 148 сторінок, у тому числі 106 сторінок машинописного тексту, рисунків, таблиць.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У першому розділі проведений аналітичний огляд методів розрахунку вогнестійкості конструктивних елементів монолітних залізобетонних будівель, напружено-деформованого стану залізобетонних елементів при спільному впливі навантаження і температури, експериментальних даних про міцнісні та деформативні характеристики бетону й арматури при нагріванні, експериментальних даних про роботу статично невизначених залізобетонних конструкцій при нагріванні.

Проблемам вогнестійкості залізобетонних конструкцій присвячені роботи Бартелеми Б., Бушева В.П., Гусакова В.Н., Демчини Б.Г., Жукова В.В., Зигерн-Корна В.Н., Ільїна Н.А., Колякова М.И., Крюпа Ж., Мальхотри Х. Л., Мілованова А. Ф., Мурашова В. И., Панюкова Є.Ф., Пчелинцева В.А., Пчелинцева А.В., Ройтмана В.М., Ройтмана М. Я., Романенкова И.Т., Фоміна С.Л., Чихладзе Е.Д., Шмуклера В.С., Яковлева А. І. та ін. дослідників.

При нормальних температурах дослідженню нерозрізних залізобетонних конструкцій присвячені роботи Бондаренка В.М., Гвоздьова А. А., Городецького А. С., Диховичного А. А., Зайцева Ю. В., С. М. Крилова, Маїляна Л. Р. і ін. При пожежі розрахунок вогнестійкості розроблений Пчелинцевим В.А., Яковлевим А. І.

У дослідженнях Фоміна С.Л., Джафар Шакер Шахіна розроблена методика розрахунку нерозрізних статично невизначених залізобетонних конструкцій на основі виявленого механізму трьох стадійного її переходу в граничний стан.

Запропоновано методику розрахунку вогнестійкості залізобетонних конструкцій по нормальних перерізах, заснована на обліку реальних законів деформування при нагріванні яка включає ітераційний процес визначення міцності при нелінійному розподілі температури за перерізом. Розроблено методику розрахунку залишкової міцності залізобетонних перерізів.

Експериментально виявлено, що вогнестійкість статично невизначених нерозрізних залізобетонних конструкцій значно вища статично визначених розрізних еквівалентного перерізу, що обумовлюється виникненням у них температурного

моменту, який при нагріванні знизу розвантажує прольотні перерізи і довантажує опорні.

Виявлено, що за певних умов можливе руйнування нерозрізних залізобетонних балок після охолодження конструкції в зв'язку з тим, що зникнення температурного моменту приводить до повернення прольотного моменту, а міцність прольотного перерізу, що знизилася, після нагрівання нижча цього значення.

Виявлено, що пластичний шарнір в опорному перерізі вироджується в звичайний шарнір у результаті зниження опорного моменту в зв'язку з утратою міцності стиснутої зони і підвищеної деформативності бетону. При цьому відбувається зростання прольотних моментів до значень, що перевищують проектну міцність перерізу.

Дослідження, проведені Бушевым В.П., Бушуевим Н.С., Зенковим Н. И., Завісновою Л. М., Кричевським О. П., Міловановым А. Ф., Олімпієвим В.Г., Фоміним С. Л., Яковлевим А. І. показують, що міцність важкого бетону на осьовий стиск і осьове розтягання при високих і підвищених температурах істотно знижується.

Гвоздевим А.А. і Байковим В.Н. відзначалося, що уточнення теорії залізобетону в стадії, близькій до руйнування, може бути проведене з використанням повної діаграми "σ-ε" бетону. Визначенням параметрів повної діаграми присвячені роботи Баби́ча Е.М., Бамбури А.Н., Барашикова А.Я., Гольшева А.Б., Карпенка Н.И., Клімова Ю.А., Кричевського О. П., Узуна И.А. і ін., на основі яких розроблені пропозиції до нормативних документів.

Як показують результати досліджень ХДТУБА уточнення розрахунку вогнестійкості і залишкової міцності варто шукати шляхом обліку повних діаграм "σ-ε" бетону й арматури при нагріванні. Установлено, що при нагріванні знижується міцність бетону на стиск, знижується початковий модуль пружності, збільшується гранична стискальність.

Показано, що облік реальних законів деформування при нагріванні дозволив розробити нові методики розрахунку вогнестійкості стиснутих і залізобетонних конструкцій, що згинаються, по нормальних перерізах, установити ряд особливостей роботи залізобетонних конструкцій при нагріванні, уточнити оцінку їхньої вогнестійкості і залишкової міцності.

У результаті виконаного аналізу визначені і сформульовані задачі дійсних досліджень.

Другий розділ присвячений дослідженню фізико-механічних характеристик нових видів термічно зміцненої арматури класів А400С-А500С, що працюють в умовах нормальних, підвищених і високих температур.

Вплив температури на міцнісні і деформативні характеристики нагрітої арматури в достатньому ступені вивчені і представлені в нормативних документах у вигляді таблиць залежностей коефіцієнта умов роботи арматури γ_{st} і коефіцієнта зниження модуля пружності бетону β_{bt} від температури. Представницькі дані для коефіцієнта умов роботи арматури γ_{st} усіх класів у діапазоні температур 20...800°C зібрані в Рекомендаціях НИИЖБ, однак дані для коефіцієнта зниження модуля пружності бетону β_{bt} дані тільки для двох узагальнених груп арматури: 1)

горячекатаної стержневої і дротової; 2) термічно і механічно зміцненої, що приводить до істотних погрішностей у розрахунках. Експериментальні дані показують, що при нагріванні знижується міцність і підвищується деформативність усіх класів арматури. На перший погляд це відбивають таблиці зниження міцності і зниження модуля пружності арматури, однак швидкості цього зниження повинні задовольняти визначеній умові.

Показано, що при збільшенні відносних деформацій від температури повинне бути дотримане відношення $\gamma_{st}/\beta_{st} > 1$. Аналіз нормативних даних показує, наприклад, що для стержневої арматури класів А-III, А-IIIв, А-I, А-V, Ат-і, Ат-V, Ат-Vі, Ат-VII ця умова не дотримується.

Для проведення випробувань розроблена і виготовлена установка, що дозволяє проводити випробування по різних режимах, у тому числі по релаксаційному, визначати повну діаграму «напруження - деформація» арматури зі спадною гілкою при підвищених і високих температурах.

Установка включає станину-металеву раму, пристрої для захоплення арматури, динамометр для виміру зусилля, пристрій для виміру деформацій, систему нагрівання зразка і систему для створення дозованих переміщень (Заявка на винахід № 2001042613 від 18.04.2001).

Арматурний зразок навантажується шляхом створення в ньому заданих деформацій за допомогою штурвалів черв'ячних механізмів переміщень. Вимір деформацій виробляється індикаторним екстензометром, величина зусилля при цьому фіксується динамометром. Нагрівання зразка за заданим режимом здійснюється за допомогою електропечі. Пристрій для виміру відносних деформацій – індикаторний екстензометр працює на принципі виміру переміщень стержнів, з'єднаних у верхньому і нижньому кінцях зразка на відстані бази виміру в зоні нагрівання і виведених з печі в нижній частині.

За розробленою методикою проведені дослідження повних діаграм “ σ - ϵ ” арматури класу А500С у процесі нагрівання при температурах 20; 400; 500, 600 і 700°C. Діаграми деформування представлені на рис.1. Отримано, що схема деформування при нагріванні відповідає випадку $\gamma_{st}/\beta_{st} > 1$

Умовна границя текучості $\sigma_{0,2}$, тимчасовий опір σ_b і модуль пружності E_s знижуються. Залежності коефіцієнтів умов роботи арматури γ_{st} , γ_{sb} і коефіцієнта зниження модуля пружності β_{st} від температури описуються наступними емпіричними формулами:

$$\begin{aligned} \text{При } 20^\circ\text{C} \leq t \leq 400^\circ\text{C} \quad \gamma_{st} &= 1 \\ \text{При } t \geq 400^\circ\text{C} \quad \gamma_{st} &= -9,283 \cdot 10^{-6} t^2 + 8,758 \cdot 10^{-3} t - 1,031 \quad R^2 = 0,998 \quad (1) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{При } 20^\circ\text{C} \leq t \leq 400^\circ\text{C} \quad \gamma_{se} &= -1,26 \cdot 10^{-4} t + 1,0025 \\ \text{При } t \geq 400^\circ\text{C} \quad \gamma_{se} &= -4,75 \cdot 10^{-4} t^2 + 4,137 \cdot 10^{-3} t + 6 \cdot 10^{-2} \quad R^2 = 0,997 \quad (2) \end{aligned}$$

$$\beta_{ie} = -1 \cdot 10^{-6} t^2 - 3 \cdot 10^{-4} t + 1,0108 \quad R^2 = 0,97 \quad (3)$$

Повні відносні деформації при максимальному навантаженні δ_{max} зменшуються при нагріванні, що характеризується коефіцієнтом k_{st} :

$$k_{st} = -5 \cdot 10^{-7} t^2 - 0,0002t + 1,0078 \quad R^2 = 0,98 \quad (4)$$

Вплив нагрівання на зміну фізико-механічних характеристик арматурної сталі класу А500С після нагрівання вивчався на зразках різних діаметрів. Результати

досліджень наведені на рис.2. Отримано, що границя текучості σ_T ($\sigma_{0,2}$) понад нагрівання до 400°C з 570 МПа знижується до 507 МПа при 600°C , тимчасовий опір σ_y з 660 МПа знижується до 602 МПа.

Оцінка можливості деформаційного зміцнення будувалася на аналізі даних ДСТУ 3760-98, матеріалів випробувань, проведених комбінатом "Криворіжсталь", і результатів спеціально виконаних у ХДТУБА експериментальних досліджень.

Для досвідів відібрані зразки з однієї плавки комбінату «Криворіжсталь». Арматурні стрижні діаметром $d = 10$ і 14 мм випробувалися на розтягання відповідно до ДСТ 12004-66. У проекті ДБН В.2.6. «Бетонні і залізобетонні конструкції. Норми проектування» і Єврокодів 2 діаграма стану арматури представляється у виді ламаної, що проходить через початок координат і базові точки з фіксованими значеннями напружень і деформацій, параметри яких визначаються за результатами випробувань: перша базова точка – розрахункове значення опору арматури осьовому розтягання R_s з урахуванням коефіцієнтів умов роботи і відповідні деформації $\varepsilon_{s,R} = R_s/E_s$; друга базова точка – граничні деформації арматури $\varepsilon_{s,u} = \beta_\varepsilon \cdot R_s/E_s$. Зазначені параметри визначаються за допомогою методики і приладових засобів, обговорених у ДСТ 12004-66 за винятком повних відносних подовжень при максимальному навантаженні δ_{\max} .

Якщо тимчасовий опір σ_y фіксується по зупинці стрілки, що реєструє, силовимірвача розривної машини, то величину δ_{\max} не вдається замірити тензодатчиками через високу швидкість деформацій при застосуванні звичайних гідравлічних машин, у зв'язку з цим розроблена методика масштабування машинних діаграм, що звичайно застосовуються для якісної оцінки результатів випробування. Як показують численні виміри лінійна залежність між деформаціями обмірюваними тензодатчиком і деформаціями машинної діаграми в точці, що відповідає початку плинності, має злам, тобто відбувається зміна масштабу. На ділянці σ_T ($\sigma_{0,2}$) - σ_y може бути прийнята лінійна залежність, користуючись якою по машинній діаграмі з високою вірогідністю апроксимації ($R^2 = 0,994 \dots 0,9999$) визначалися значення δ_{\max} .

Для арматури з умовною границею текучості як базові точки приймаються: перша точка, що відповідає напруженню, які дорівнюють межі пружності $\sigma_s = 0,8R_s$, і відповідним деформаціям $\varepsilon'_{s,l} = 0,8R_s/E_s$; - друга точка, яка відповідає розрахунковому значенню опору арматури осьовому розтягання (стиску) R_s , що відповідають залишковим деформаціям рівним $0,2\%$; третя точка, що відповідає максимальним (граничним) деформаціям $\varepsilon_{s,u}$, прийнятим рівними значенням мінімальними, контрольованими стандартами, відносного рівномірного подовження після розриву, і відповідним напруженням, що обчислюється по формулі $\sigma'_{s,u} = \beta_\varepsilon \cdot R_s$ при коефіцієнті β_ε рівному для арматури класів А-IV – 1,3, А-V – 1,25, А-VI – 1,2, А-VII – 1,15 з урахуванням коефіцієнтів умов роботи.

У даних експериментальних дослідженнях випробувалися на розтягання арматурні стержні довжиною 500 мм на машині УИМ-50, зі шкалою силовимірвача в 100 кН, тобто з ціною розподілу 200 Н. Перед проведенням випробувань зразок за допомогою керн розмічався на рівні частини з відстанню між мітками 10 мм. Відносне рівномірне подовження δ_p визначалося поза ділянкою розриву стрижня по погонній розрахунковій довжині 100 мм.

Деформації арматурного стержня вимірялися за допомогою індикаторного тензометра по двох діаметрально протилежних утворюючих зразка. Використовувалися індикатори годинного типу з ціною розподілу шкали 0,01 мм. База тензометра з однієї сторони утворюючої $l_T = 100$ мм, а сума баз двох тензометрів $2l_T = 200$ мм. Три зразки діаметром 14 мм (№ 1-3) випробувалися в стані постачання, інших 14 зразків – після зміцнення до подовження 2 % (№ 4-6); 2,5 % (№ 7-11); 3 % (№ 12-14) і 3,5 % (№ 15-17). Три зразки діаметром 10 мм (№ 18-20) випробувалися після зміцнення до подовження 3 %.

Статистична обробка результатів дослідження проводилася виходячи з нормального закону розподілу Гаусса і при малих вибірках – з розподілу Стюдента. Для арматурної сталі в стані постачання за результатами випробування 17 зразків діаметром 14 мм отримана: середня величина границі текучості $\sigma_{т. порівн} = 567,88$ Н/мм², дисперсія $D(\sigma_{т}) = 298,59$ (Н/мм²)², стандарт $\sigma = \sqrt{D(\sigma_{т})} = 17,28$ Н/мм², верхня і нижня оцінки довірчого інтервалу для середньої при довірчій імовірності $\gamma = 0,95$ $\sigma_{т. ср. min} = 539,54$ Н/мм² і $\sigma_{т. порівн. max} = 596,22$ Н/мм², коефіцієнт варіації склав $\nu = 0,03$.

Для модуля пружності арматурної сталі в стані постачання: $E_{ср} = 200924,29$ Н/мм², $D(E) = 21158201,51$ (Н/мм²)², стандарт $\sigma = \sqrt{D(E)} = 4599,805$ Н/мм², $E_{ср. min} = 193380,614$ Н/мм² і $E_{ср. max} = 208467,97$ Н/мм², $\nu = 0,0229$.

Для арматурної сталі зі зміцненням до $\delta_{выт} = 3$ % отримано: середня величина умовної границі текучості $\sigma_{0,2 порівн} = 620,33$ Н/мм², $E_{ср} = 178863,2$ Н/мм², $\sigma_{у порівн} = 678,9$ Н/мм², $\delta_{max порівн} = 5,99$ %, $\delta_{р порівн} = 6,53$ %, $\delta_{5 порівн} = 17,7$ %.

Усе викладене вище свідчить про можливість і доцільність деформаційного зміцнення стержневої арматури серповидного профілю класу А500С з витяжкою до контрольованого подовження 3 %.

У третьому розділі викладені теоретичні положення методу розрахунку вогнестійкості.

Для розрахунку меж вогнестійкості статично невизначних монолітних залізобетонних конструкцій багатопверхових будівель необхідно розрахувати зусилля в елементах від нормативного навантаження, визначити температурні зусилля в них для різних стадій нагрівання заданої ділянки будівлі, виявити характер виникнення пластичних шарнірів і, нарешті, визначити граничний стан, що характеризується виникненням геометрично змінюваної схеми. Такі розрахунки доцільно проводити, використовуючи сучасні програмні комплекси, наприклад, Міраж, Ліра Windows, SCAD.

При оцінці несучої здатності перерізу залізобетонного елемента необхідно знати розподіл температури в ньому для різних моментів часу, при визначенні температурних зусиль у рамних конструкціях з використанням програмних комплексів необхідно задавати або середню температуру елемента T , або температурний перепад у виді температур на протилежних поверхнях елементів по заданому напрямку T_1 і T_2 . Для найбільш розповсюджених перерізів колон, балок і плит при нагріванні з чотирьох, трьох і однієї сторони в літературі наводяться температурні поля у вигляді карт ізотерм. Однак, ці дані, незважаючи на свою наочність, незручні для чисельного рахунка, тому що вимагають графічної інтерполяції і не містять інформації про середні температури і температурні

перепади. Крім того, як показують розрахунки, пластичні шарніри в статично невизначених залізобетонних конструкціях утворюються задовго до мінімальних за часом табульованих температурних полів (карти ізотерм даються звичайно для 30, 60, 90, 120, 180 і 240 хв).

З метою визначення необхідної для статичного розрахунку рамних систем інформації за розробленою в ХДТУБА програмою для ПК «FIRE» проведено чисельне дослідження температурних полів у перетинах залізобетонних елементів прямокутного перерізу. Рішення отримане на основі введення ефективної теплоємності, яка враховує сховану теплоту пароутворення, що дозволяє рішення системи нелінійних диференціальних рівнянь тепловологопереноса, що описує процеси розподілу тепла, вологості і надлишкового тиску в результаті інтенсивного її випару, звести до послідовного рішення рівняння теплопровідності, вологопровідності і паропровідності.

У зв'язку з істотною нелінійністю теплофізичних характеристик для рішення диференціального рівняння теплопровідності застосована консервативна кінцево-різницька схема, що підвищує точність рішення.

Рішення проведено методом прямих шляхом дискретизації першим просторового члена, перетворюючи диференціальне рівняння в систему звичайних диференціальних рівнянь, для вузлових значень, з наступним її рішенням двукроковим методом у варіанті предиктор-коректор.

Для будівельних конструкцій зі сталим температурно-вологісним режимом з достатньою точністю можна прийняти, що коефіцієнти питомої теплоємності c , кдж/(кг °С) і теплопровідності λ , Вт/(м °С) залежать тільки від температури. У цьому випадку задача зводиться до рішення нелінійного рівняння теплопровідності

$$C(t) \rho_0 \frac{\partial t}{\partial \tau} = \nabla[\lambda_t \nabla t]; \quad (5)$$

Температурний режим пожежного середовища приймається по стандартній залежності:

$$t_p = 345 \cdot \lg(8\tau + 1) + t_0 \quad (6)$$

При нелінійному розподілі температури в перерізі елемента виникають власні температурні напруження, що впливають на загальні температурні деформації плоского перерізу. Тому температури T , T_1 і T_2 необхідно визначати з урахуванням цих напружень. Точне рішення надзвичайно громіздке, оскільки зв'язано з необхідністю обліку фізичної нелінійності бетону і арматури, її розташування й ін. факторів. З достатньою для інженерних задач вірогідністю ці параметри можуть бути знайдені з пружного рішення, що зводиться до побудови еквівалентних трапецевидних температурних епюр, що дорівнюють реальним за площею і статичним моментом. Для цієї мети запропоновано скористатися лінійною апроксимацією залежностей за допомогою табличного процесора Excel for Windows.

Для симетричного температурного поля, наприклад, показаного на рис.3.а, досить визначити середню за перерізом температуру T . Для одновимірного несиметричного поля будується графік розподілу температури за висотою перерізу, вводиться лінія тренда – “регресія”, виводиться формула лінійної

апроксимації, з якої визначаються граничні температури T_1 і T_2 . Табличний процесор для апроксимації використовує метод найменших квадратів, тобто вирішує поставленню задачу. Для двовимірних температурних полів з односторонньою симетрією (рис.3.в) визначаються середні температури шарів по напрямку симетрії, потім будується графік розподілу середніх температур по висоті перерізу і визначаються температури T_1 і T_2 описаним способом.

За розробленою методикою підготовлені таблиці для розрахунків залізобетонних каркасів найбільш розповсюджених перерізів.

Розроблено методику розрахунку напружено-деформованого стану статично невизначних залізобетонних конструкцій при пожежі. Результати розрахунку рамних статичних невизначних залізобетонних конструкцій, а також результати експериментальних і натурних досліджень показують, що граничний стан може виникнути задовго до знижень несучої здатності елементів при нагріванні R_u . Причиною цього є нагромадження температурних деформацій елементів, перерозподіл зусиль у результаті утворення пластичних шарнірів, утрата несучої здатності елементів, не підданих нагріванню. Тому для оцінки несучої здатності таких конструкцій розроблена методика розрахунку, заснована на обліку реальних законів деформування при нагріванні, власних температурних напружень у бетоні й арматурі, перерозподілу зусиль у статично невизначних конструкціях. Методика орієнтована на застосування програмних комплексів для ПСОМ, наприклад, ПК Ліра Windows.

Прийнято наступні передумови: розрахунок зусиль в елементах конструкцій проводиться на ПК; визначення граничних згинальних моментів у перерізах ведеться з урахуванням залежностей повних діаграм “ σ - ϵ ” бетону й арматури від температури; при досягненні в перетині граничного згинального моменту в ньому виникає пластичний шарнір; утрата несучої здатності елемента визначається досягненням геометричної змінюваної схеми, яка ще не визначає втрату несучої здатності будівель у цілому. Величини опорних і прольотних пластичних моментів у перерізах M_u^{on} і M_u^{np} визначаються з урахуванням повних діаграм “ σ - ϵ ” бетону й арматури з урахуванням нагрівання.

Розрахунок проводиться чисельним ітераційним методом, дискретизуючи переріз: при одномірному температурному полі у вигляді смужок, при двомірному - у вигляді прямокутних елементів з урахуванням наступних передумов:

- 1) приймається гіпотеза плоских перерізів;
- 2) бетон у стиснутій і розтягнутій зонах виключається з роботи при досягненні деформаціями граничних значень ϵ_{bu} і ϵ_{btu} ;

Розподіл деформацій при одномірному температурному полі записується через фіброві деформації бетону ϵ_{bn} і нижньої арматури ϵ_s :

$$\epsilon = \epsilon_{tot} + \left(\frac{1}{r} \right)_{tot} y = \frac{\epsilon_s \cdot h - \epsilon_{bn} \cdot a}{h - a} - \frac{\epsilon_s - \epsilon_{bn}}{h - a} y \quad (7)$$

Напруження в i -тій смужці бетону σ_{bi} і арматурі j -го ряду - σ_{sj} визначаються діаграмою “ σ - ϵ ”, що відповідає температурі нагрівання по деформаціях:

$$\epsilon_{bi} = \epsilon_{tot} + (1/r)_{tot} \cdot y_{ib} - \alpha_{bTi} \cdot (t_{bi} - t_0), \quad (8)$$

$$\epsilon_{sj} = \epsilon_{tot} + (1/r)_{tot} \cdot y_s - \alpha_{sT} \cdot (t_{sj} - t_0). \quad (9)$$

Рівнодіюча зусиль і головний момент відповідно:

$$N = \sum_{i=1}^n \sigma_{bi} \cdot A_{bi} + \sum_{j=1}^m \sigma_{sj} \cdot A_{sj} \quad (10)$$

$$M = \sum_{i=1}^n \sigma_{bi} \cdot A_{bi} \cdot y_{bi} + \sum_{j=1}^m \sigma_{sj} \cdot A_{sj} \cdot y_{sj} \quad (11)$$

Ітераційний процес визначення міцності залізобетонного перерізу в загальному випадку полягає в підборі максимального значення шуканого зусилля - головного моменту М при N=0 для чистого вигину, чи вигину М при заданому N. Підбор виробляється одним з відомих методів, наприклад, методом дихотомії, при послідовній варіації значеннями відносної деформації арматури ϵ_s і кривизни $(1/r)_{tot}$. За приведеним алгоритмом складена програма "ITER" у табличному процесорі Excel for Windows.

Розрахунок продовжується і після втрати несучої здатності окремих елементів до виявлення напружено-деформованого стану будівлі протягом усієї тривалості пожежі, при цьому елементи, що зруйнувалися, виключаються з роботи, видозмінюючи розрахункову схему будівлі.

Розрахунок вогнестійкості в пружній постановці з використанням ПК типу Міраж, Ліра Windows. Розроблено методику, яка використовує лінійні процесори ПК у такий спосіб. При побудові розрахункової схеми кожен стержневий елемент розбивається на 5 основних частин: 3-х коротких елементів довжиною, який дорівнює половині висоти перерізу, що моделюють пластичні шарніри, і 2-х елементів заданої довжини. Призначаються жорсткісні характеристики перерізів з урахуванням змін модулів пружності бетону й арматури від температури. Подальший розрахунок проводиться для дискретних моментів часу розвитку пожежі по нормативних навантаженнях. Температурні зусилля обчислюються або по середній температурі елемента T , або по температурному перепаді у вигляді температур на протилежних поверхнях елементів за заданим напрямком T_1 і T_2 .

Для заданого моменту часу від початку пожежі визначаються зусилля в елементах, при досягненні яких виникають пластичні моменти. У коротких стрижнях, що моделюють ці перерізи, установлюються шарніри і прикладаються пластичні моменти. При виникненні трьох шарнірів в елементі він виключається з роботи.

Розрахунок вогнестійкості в нелінійній постановці з використанням ПК Ліра Windows. У ПК Ліра Windows передбачений нелінійний розрахунок з обліком заданої фізичної нелінійності матеріалу, однак розрахунок автоматично переривається при досягненні одним елементом геометрично змінюваної схеми, при цьому відсутня інформація про напружено-деформований стан інших елементів будівлі.

Кроковий процесор «ЛІР – СТЕП» призначений для рішення фізично і геометрично нелінійних задач будівельної механіки кроковим методом. «ЛІР – СТЕП» - процесор організує кроковий процес і забезпечує рішення лінеаризованої системи рівнянь, що дозволяють, на кроці для поточного збільшення вектора вузлових навантажень, сформованого для конкретного навантаження. Він дозволяє одержати напружено-деформований стан з урахуванням нелінійних ефектів як для

мономатеріальних, так і для біматеріальних систем. Моделювання фізичної нелінійності матеріалів конструкцій виробляється за допомогою розвинутої бібліотеки законів деформування матеріалів (залежностей напруження – деформація), що дозволяють моделювати практично будь-які фізично-нелінійні властивості матеріалу. Матриця жорсткості лінеаризованої фізично нелінійної системи формується на підставі змінних інтегральних жорсткостей, одержуваних у точках інтегрування кінцевого елемента при рішенні пружної задачі на конкретному кроці. Схема чисельного інтегрування по області кінцевого елемента і набір жорсткостей, що використовуються визначаються типом кінцевого елемента. Для одержання відповідного набору інтегральних жорсткостей переріз кінцевого елемента в точках інтегрування розбивається на ряд елементарних підобластей, у центрах яких визначаються нові значення фізико-механічних характеристик матеріалу, відповідно до заданої діаграми деформування матеріалу. На кожному кроці вирішується лінеаризована задача з формуванням векторів переміщень, зусиль і нових інтегральних жорсткостей за дотичним модулем для наступного кроку. Матриця жорсткості елемента на кожному кроці будується на підставі функцій, що задовольняють однорідним рівнянням рівноваги при інтегральних жорсткостях попереднього кроку. При рішенні рівнянь рівноваги використовується чисельне інтегрування за п'ятиточечною квадратичною схемою Гаусса.

Розглянутий процесор «ЛІРА-СТЕП», володіючи безсумнівними перевагами при рішенні нелінійних задач, не може бути безпосередньо застосований для оцінки вогнестійкості статично невизначених залізобетонних конструкцій у зв'язку з зазначеним обмеженням при виявленні в системі хоча б одного елемента з геометрично змінюваною схемою і в результаті відсутності апарата оцінки температурних напружень. Останній недолік пропонується обійти, використовуючи його можливості комбінувати лінійні і нелінійні кінцеві елементи. Елементи, що безпосередньо піддаються нагріванню, уводяться як лінійні і визначення пластичних шарнірів у них проводиться за описаною методикою, не нагріті – як нелінійні. Для можливості проведення повного розрахунку статично невизначеної конструкції знімаються обмеження по деформаціях: $\varepsilon_{in}^- = 0.0025$ і $\varepsilon_{in}^+ = 0.1$ і проводиться аналіз напружено-деформованого стану по протоколах розрахунку. Як відзначається Дарковим А.В., основні труднощі розрахунку рам полягають у тому, що кількість можливих форм руйнування дуже велика і заздалегідь важко її установити. Однак і для загального випадку розроблені різні методи, наприклад, методом комбінованих механізмів при заданому навантаженні всі можливі механізми можуть бути отримані шляхом складання різних комбінацій щодо невеликої кількості простих незалежних механізмів руйнування.

Для перевірки розроблених методик проведено чисельне моделювання напружено-деформованого стану двоповерхової залізобетонної рами, призначеної для експериментального дослідження вогнестійкості (розділ 4) при реальному температурному режимі пожежі в першому поверсі. Проліт 2280 мм, висота першого поверху 1360 мм, 2-го - 760 мм. Ригелі рами мають переріз 120x120 мм, стійки 120x120 мм. Нагріванню піддавали ригель першого поверху. Прийнято важкий бетон з великим заповнювачем із силікатних порід (коефіцієнт теплоємності $c = 0,71 + 0,00083t$, кдж/(кг °С) і теплопровідності $\lambda = 1,2 - 0,00035t$, Вт/(м °С)) класу по міцності на стиск У25 ($R_{bn} = 18.5$ МПа, $R_{bтн} = 1,6$ МПа, $E_b = 27100 \cdot$ МПа, $\varepsilon_b = 178 \cdot 10^{-5}$, $\varepsilon_{bu} = 364 \cdot 10^{-5}$, $\beta_u = 0,68$, $\alpha = 0,00001$ 1/0С). Ригелі мають верхнє армування на крайніх опорах і в прольотах 2ф8, нижнє армування - 2ф10 А500С ($R_{sn} = 500$ МПа, $E_b = 190000 \cdot$ МПа).

Ригелі навантажувалися зосередженими силами в середині прольоту величиною $P = 1200$ кг, що відповідає нормативному навантаженню (яке дорівнює приблизно 70 % від руйнуючого $P_u = 1950$ кг).

У відповідності з розробленою методикою розрахунку вогнестійкості в пружній постановці ригелі розбивалися на 5 основних частин: 3-х коротких елементів довжиною яка дорівнює половині висоти перерізу, що моделюють пластичні шарніри, і 2-х елементів заданої довжини. У першому наближенні жорсткості всіх елементів прийняті однаковими і дорівнюють початкової жорсткості $B = EI$. При досягненні в розглянутих перерізах пластичного шарніра изгибная жерсткість коротких елементів приймається близькою до нуля ($B_{nl} = 0,01$ т · м²), а пластичний момент у перерізі моделюється заданням зовнішнього моменту у вузлах коротких елементів. Подальший розрахунок проводиться для дискретних моментів часу нагрівання.

Максимальні значення згинальних моментів у верхньому ригелі: прольотний $M_{1in} = 0,382$ тм, опорні $M_{1оп} = 0,302$ тм; у нижньому ригелі: прольотний $M_{2in} = 0,365$

тм, опорні $M_{2оп} = 0,365$ тм; у колоні верхнього ярусу: верхньому перерізі $M_3 = 0,302$ тм, у нижньому перерізі $M_2 = 0,247$ тм, у колоні нижнього ярусу: верхньому перетині $M_2 = 0,072$ тм, у нижньому перерізі $M_1 = 0,037$ тм.

При спільному впливі навантаження і нагрівання при 5 хв для задання температури використовуються результати розрахунку температурних полів у бетонному перерізі розмірами 120x120 мм при тристороннім нагріванні й еквівалентних температурах для задання температурного перепаду $T_1 = 22^\circ\text{C}$ и $T_2 = 34^\circ\text{C}$. Рішення отримане для реального температурного режиму в печі. Величина прольотного моменту у верхньому ригелі збільшилася, опорних – зменшилася; у нижньому ригелі прольотний момент зменшився, пролітні – збільшилися. Така ж тенденція спостерігається при збільшенні тривалості нагрівання. Через 15 хв нагрівання величина опорного моменту в нижньому нагрітому ригелі досягла граничного значення $M_u = 0,432$ тм, тобто виникли умови для утворення пластичного шарніра. У процесі нагрівання відбувається перерозподіл зусиль: у верхніх стійках значення моментів зменшуються і зокрема при нагріванні до 45 хв момент у нижньому перерізі верхнього ярусу стійки змінює свій знак. При нагріванні до 120 хв утворюються шарніри у верхніх перерізах нижнього ярусу стійок, при нагріванні до 180 хв виникає пластичний шарнір прольоті верхнього ригеля. При нагріванні до 240 хв утворюються шарніри в нижніх перетрізах нижнього ярусу стійок, що переводить раму в геометрично змінювану систему. Отже, у даному випадку втрата несучої здатності рами настає задовго до вичерпання межі вогнестійкості нагрітого елемента.

Проведений аналогічний розрахунок рами без верхнього поверху показує, що для часу нагрівання 240 хв утворюються опорні пластичні шарніри в нагрітому ригелі, але втрати несучої здатності рами не відбувається.

У нелінійній постановці кінцевий елемент рами, що безпосередньо піддається нагріванню - ригель першого поверху, уводиться як лінійний і визначення пластичних шарнірів у ньому проводиться за описаною методикою. Інші елементи рами – стійки першого і другого поверхів і ригель другого поверху розглядаються такі що володіють фізичною нелінійністю по експонентних законах (для бетону: $E_0^- = 2,7 \cdot 10^6$ т/м², $\sigma_{ін}^- = 1890$ т/м², $\epsilon_{ін}^- = 0,0025$, $E_0^+ = 2,7 \cdot 10^6$ т/м², $\sigma_{ін}^+ = 160$ т/м², $\epsilon_{пр}^+ = 0,00015$, залежність для арматури: $E_0^- = 1,9 \cdot 10^7$ т/м², $\sigma_{ін}^- = 40000$ т/м², $\epsilon_{ін}^- = 0,0025$; $E_0^+ = 1,9 \cdot 10^7$ т/м², $\sigma_{ін}^+ = 50000$ т/м², $\epsilon_{ін}^+ = 0,1$).

Через 15 хв нагрівання величина опорного моменту в нижньому нагрітому ригелі досягла граничного значення $M_u = 0,432$ тм, тобто виникли умови для утворення пластичного шарніра. Як і при лінійному методі розрахунку спостерігається перерозподіл зусиль: у верхніх стійках значення моментів зменшуються і зокрема при нагріванні до 45 хв момент у нижньому перерізі верхнього ярусу стійки також змінює свій знак. При нагріванні до 120 хв на відміну від лінійного розрахунку утвориться шарнір у середньому перерізі верхнього ригеля, при нагріванні до 180 хв не виникають додаткові пластичні шарніри. При нагріванні до 240 хв утворюються шарніри в нижніх і верхніх перерізах нижнього ярусу стійок, що також переводить раму в геометрично змінювану систему. Отже, нелінійний розрахунок привів до аналогічного результату - утрата

несучої здатності рами настає задовго до вичерпання межі вогнестійкості нагрітого елемента, але зі значними методичними спрощеннями і підвищеною точністю.

А.Ф.Міловановим на основі результатів вогневих випробувань трипрольотної чотириповерхової рамної конструкції, проведених у м. Брауншвейгу (ФРН), показано, що пожежа в одному приміщенні впливає на перерозподіл зусиль в елементах конструкції. З метою виявлення механізму такого перерозподілу проведене чисельне моделювання напружено-деформованого стану описаної конструкції з застосуванням розробленої методики. На рис.4 показані епюри моментів ($t \cdot m$) від нормативного навантаження і нагрівання при різному розташуванні вогнищ пожежі. При пожежі на 3 поверсі середнього прольоту пластичні шарніри виникли не тільки в елементах, що нагріваються, але й у конструкціях холодних приміщень. Аналогічна картина спостерігається при інших варіантах вогневого впливу. Найбільш несприятливим з розглянутих варіантів є третій (рис.4,в).

На прикладі чисельного моделювання напружено-деформованого стану восьмиповерхового, восьмипрольотного монолітного каркасного будинку лабораторного корпусу досліджений вплив розташування й обсягу вогнищ пожежі. Отримано, що при 90-хвилинному нагріванні одного середнього прольоту першого поверху пластичні шарніри виникають у ригелях і колонах 6 холодних приміщень. При поширенні вогню на два сусідніх прольоти першого поверху рама всього першого поверху перетворилася в геометрично змінювану систему. При виникненні пожежі в середніх прольотах будинку істотно збільшуються зусилля в крайніх колонах, що можуть бути зруйновані задовго до втрати міцності колон у зоні пожежі.

У четвертому розділі викладені результати експериментальних досліджень напружено-деформованого стану однопрольотної, двоповерхової залізобетонної рами при моделюванні реального температурного режиму пожежі в першому поверсі. Метою експериментальних досліджень ставилося підтвердження розробленої методики розрахунку вогнестійкості статично невизначних монолітних залізобетонних конструкцій. Задачами експериментів були: виявлення закономірностей деформування при нагріванні навантажених елементів; визначення характеру утворення і розвитку пластичних шарнірів в опорних і прольотних перерізах ригелів і стійок; дослідження зниження міцності при інтенсивному високотемпературному нагріванні опорних і прольотних перерізів; вогнестійкості монолітних конструкцій з новими видами арматури класу (А).

Для випробування розроблена і виготовлена установка, що дозволяє проводити навантаження і нагрівання зразків за допомогою спеціальної електричної печі потужністю 55 квт із нагрівальною камерою розміром 100 x 100 см. Установка складається з металевої рами, тяжів і траверс, за допомогою яких навантаження від 50-ти тонного домкрата передається у вигляді зосередженої сили на верхній проліт рами і за допомогою тяжа з форкопфом і динамометром у центр нижнього ригеля.

Замір скривлення осей ригелів при завантаженні статичним навантаженням і нагріванні замірявся прогиномірами, винесеними з зони нагрівання. Для зниження погрішності від нагрівання силового вузла домкрат також винесений із зони

підвищеної температури, а центральне прикладання навантаження на траверсу здійснювалося через додаткову траверсу. Нижній ригель рами нагрівався з боку нижньої розтягнутої грані. Для виміру температури в бетоні і на арматурі встановлювали хромель-копелеві термопари, показання яких автоматично реєструвалися двома 12-ти точечними самописними електронними потенціометрами КСП-2.

Деформації стиснутих фібр бетону й арматури в опорній зоні нижнього ригеля і колони, а також у центрі верхнього ригеля реєструвалися підйомними тензометрами.

У результаті експерименту виявлені особливості формування напруженого стану конструкції при спільному впливі статичного навантаження і температури, підтверджені результати чисельного моделювання, прийняті розрахункові передумови. Розрахункові значення міцності за розробленою методикою мають задовільну збіжність з результатами досвідів.

У п'ятому розділі розроблені конструктивні рішення монолітних залізобетонних будівель, що мінімізують температурні зусилля при пожежі. Проведено комплекс виробничих досліджень стрижневої арматури класів А400С и А500С, зварених стиків і спільної роботи арматури з бетоном на ЗБК-5 м. Харкова, що дозволило розробити нову серію попередньо напружених залізобетонних 9-и метрових пустотних плит.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Показано, що наведені в нормативних документах дані про коефіцієнти умов роботи арматури γ_{st} і коефіцієнти зниження модуля пружності бетону β_{bt} від температури не погоджені, що приводить до істотних погрешностей у розрахунках. Визначено умову, що забезпечує зниження міцності і підвищення деформативності арматури при нагріванні.

2. Розроблена методика дослідження повних діаграм "σ-ε" арматури; запропонована і виготовлена нова установка, що дозволяє проводити випробування по різних режимах, у тому числі в релаксаційному, визначати повну діаграму «напруження - деформація» арматури зі спадною гілкою при підвищених і високих температурах (Заявка на винахід № 99042203 від 3.04.2001 р.).

3. Розроблено методику масштабування машинних діаграм, що дає можливість використання існуючих гідравлічних пресів для визначення повних відносних подовжень при максимальному навантаженні, δ_{max} , що відповідають тимчасовому опору σ_v .

4. Отримано результати експериментальних досліджень міцнісних і деформативних характеристик арматури класів А500С при нагріванні.

5. Проведено дослідження доцільності додаткового деформаційного зміцнення арматури класу А500С. Установлено, що деформаційне зміцнення стрижневої арматури серповидного профілю класу А500С з витяжкою до контрольованого подовження 3 % збільшує міцність до 14 %.

6. Проведено чисельне моделювання температурних полів у перерізах основних елементів залізобетонних конструкцій будівель при односторонньому, тристоронньому і чотиристоронньому нагріванні і стандартному температурному

режимі пожежі. Отримано дані для розрахунку несучої здатності каркасних статично невизначених залізобетонних будівель на сучасних програмних комплексах. Надані графіки розподілу температури в поперечних переріз колон і ригелів найбільш розповсюджених розмірів.

7. Розроблено методику розрахунку напружено-деформованого стану статично невизначених залізобетонних конструкцій при пожежі. Проведено чисельне моделювання зусиль і переміщень у монолітних каркасних багатоповерхових будинках з використанням ПК Ліра Windows. Досліджено вплив розташування й обсягу вогнищ пожежі на формування зусиль у процесі розвитку пожежі в плоскій і просторовій рамній системах з урахуванням фізичної нелінійності.

8. Розроблено алгоритм і програма розрахунку несучої здатності перерізів залізобетонних конструкцій з урахуванням особливостей нелінійного нестационарного розподілу температури на ПК.

9. Досліджено вплив розташування й обсягу вогнищ пожежі на формування зусиль у процесі розвитку пожежі в плоскій і просторовій рамній системах з урахуванням фізичної нелінійності. Показано, що при виникненні пожежі в середніх прольотах будівлі і його поширення на сусідні прольоти істотно збільшуються зусилля в крайніх колонах, що можуть бути зруйновані задовго до втрати несучої здатності колон, що безпосередньо піддаються впливу вогню. Розроблено конструктивні рішення, що мінімізують температурні зусилля при пожежі.

10. Проведено експериментальне обґрунтування запропонованого методу розрахунку вогнестійкості. Результати вогневих випробувань залізобетонної рами показують задовільний збіг розрахункових і дослідних значень оцінки її несучої здатності.

11. Розроблено пропозиції з розрахунку вогнестійкості монолітних залізобетонних конструкцій з новими видами арматури

12. Результати роботи впроваджені при розробці нової серії попередньо напружених залізобетонних 9-ти метрових пустотних плит, армованих стержневою арматурою класу А500С і А400С, стиків що зварюються і спільної роботи з бетоном на ЗБК-5 м. Харкова; використані при підготовці інструктивних документів і в методичні рекомендації для курсантів і слухачів ХАПБ МВС України.

ОСНОВНІ ПОЛОЖЕННЯ ДИСЕРТАЦІЇ ОПУБЛІКОВАНІ В НАСТУПНИХ РОБОТАХ:

1. Фомин С. Л., Пугачев А. Ф., Эль Мутассим Ларби. Расчет огнестойкости строительных конструкций по потере теплоизолирующей способности // Сталезалізобетонні конструкції: проектування, будівництво, експлуатація: Зб. наук. статей. - Кривий Ріг: 1998. С. 217 - 219.

Личный вклад – разработан алгоритм расчета огнестойкости железобетонных конструкций при одномерном температурном поле.

2. Фомин С. Л., Эль Мутассим Ларби. Пакет эмпирических формул для учета

зависимостей физико-механических характеристик бетона и арматуры от температуры // Науковий вісник будівництва. Вип. 4 Харків.: ХГТУБА, ХОТВ АБУ, 1998, С. 68 - 71.

Личный вклад – на основе статистической обработке собственных и литературных данных выведены эмпирические формулы для определения прочности и деформативности бетона и арматуры при нагреве.

3. Фомин С. Л., Эль Мутассим Ларби. Огнестойкость монолитных железобетонных конструкций многоэтажных зданий // Науковий вісник будівництва. - Харків: ХДТУБА, 1999. - №7. - С. 291 - 293.

Личный вклад – разработаны методики расчета пределов огнестойкости монолитных железобетонных конструкций на ПК.

4. Шагин А.Л., Фомин С.Л., Бутенко А А, Эль Мутассим Ларби. Деформационное упрочнение арматурной стали класса А500С // Науковий вісник будівництва. - Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ. 2000. - №10. С. 61 - 67.

Личный вклад – проведены экспериментальные исследования упрочненной вытяжкой новых видов арматуры класса (А).

5. Эль Мутассим Ларби. К расчету огнестойкости монолитных железобетонных конструкций зданий // Республіканський міжвідомчий науково-технічний збірник "Комунальне господарство міст", Випуск 25, Київ.: У "Техніка", 2000, с.98 – 102.

6. Эль Мутассим Ларби. Напряженно-деформационное состояние монолитных железобетонных конструкций, работающих в условиях воздействия пожарной среды.// Науковий вісник будівництва. - Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ. 2000. - №11. - С. 165 - 169.

АНОТАЦІЯ

Ель Мутассім Ларбі. Вогнестійкість монолітних залізобетонних конструкцій будівель.- Рукопис. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 — будівельні конструкції, будівлі та споруди, Харківська державна академія залізничного транспорту, м. Харків, 2001 р.

Захищається рукопис, що містить розробку методики дослідження повних діаграм " σ - ϵ " нових видів термічно зміцненої арматури (А), експериментальні дослідження міцносних і деформативних характеристик арматури класу А500С при нагріванні, виявлення доцільності додаткового деформаційного зміцнення арматури класу А500С.

Розроблено методику чисельного моделювання температурних полів у перерізах основних елементів залізобетонних конструкцій будівель при односторонньому, тристоронньому і чотирісторонньому нагріванні й отримані вихідні дані для розрахунку несучої здатності каркасних статично невизначних залізобетонних будівель на сучасних програмних комплексах.

Розроблено методику розрахунку вогнестійкості монолітних каркасних будівель з урахуванням фізичної нелінійності бетону й арматури при нагріванні й охолодженні. Проведені за розробленою методикою чисельні дослідження напружено-деформованого стану статично невизначних залізобетонних конструкцій з урахуванням впливу локального нагрівання на міцність сусідніх елементів, впливу обсягу вогнищ пожежі, їхнього розташування, розрахункових

схем каркасів, їхньої просторової роботи.

Розроблено оптимальні з погляду вогнестійкості розрахункові схеми багатоповерхових будівель. Проведено експериментальні дослідження напружено-деформованого стану статично невизначних залізобетонних конструкцій. Розроблено пропозиції з розрахунку вогнестійкості монолітних залізобетонних конструкцій з новими видами арматури.

Результати досліджень упроваджені при розробці нової серії попередньо напружених залізобетонних 9-ти метрових пустотних плит, армованих стержневою арматурою класу А500С і А400С, вивчення міцності стиків, що зварюються, і спільної роботи з бетоном на ЗБК-5 м. Харкова; використані при підготовці інструктивних документів і в методичних рекомендаціях для курсантів і слухачів ХАПБ МВС України.

Ключові слова: вогнестійкість, монолітні статично невизначні конструкції, температурні напруження, повні діаграми “ σ - ϵ ” нового виду арматури класу (А) при нагріванні, міцність при нерівномірному нагріванні.

АННОТАЦИЯ

Эль Мутассим Ларби. Огнестойкость монолитных железобетонных конструкций зданий.- Рукопись. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 — строительные конструкции, здания и сооружения, Харьковская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков, 2001 г.

Содержание диссертации.

Обоснована актуальность, научная новизна и практическая ценность работы, дана ее общая характеристика.

В первом разделе проведен аналитический обзор методов расчета огнестойкости конструктивных элементов монолитных зданий, проведен анализ экспериментальных данных о прочностных и деформативных характеристиках бетона и арматуры. Сформулированы задачи исследования.

Во втором разделе определено условие обеспечения снижения прочности и повышения деформативности арматуры при нагреве, разработана методика исследования полных диаграмм “ σ - ϵ ” арматуры; предложена и изготовлена новая установка, позволяющая проводить испытания по различным режимам, в том числе в релаксационном, определять полную диаграмму «напряжение - деформация» арматуры с нисходящей ветвью при повышенных и высоких температурах (Заявка на изобретение № 2001042613 от 18.04.2001). Разработана методика масштабирования машинных диаграмм, которая дает возможность использования существующих гидравлических прессов для определения полных относительных удлинений при максимальной нагрузке, δ_{\max} , соответствующих временному сопротивлению σ_b , получены результаты экспериментальных исследований прочностных и деформативных характеристик арматуры класса А500С при нагреве. Проведено исследование целесообразности дополнительного деформационного упрочнения арматуры класса А500С. Установлено, что деформационное упрочнение стержневой арматуры серповидного профиля класса А500С с вытяжкой до контролируемого удлинения 3 % увеличивает прочность до 14 %.

В третьем разделе проведено численное моделирование температурных полей в сечениях основных элементов железобетонных конструкций зданий при одностороннем, трехстороннем и четырехстороннем нагреве и стандартном температурном режиме пожара. Получены данные для расчета несущей способности каркасных статически неопределимых железобетонных зданий на современных программных комплексах. Даны графики распределения температуры в поперечных сечениях колонн и ригелей наиболее распространенных размеров.

Разработана методика расчета напряженно-деформированного состояния статически неопределимых железобетонных конструкций при пожаре. Проведено численное моделирование усилий и перемещений в монолитных каркасных многоэтажных зданиях с использованием ПК Лира Windows. Исследовано влияние расположения и объема очагов пожара на формирование усилий в процессе развития пожара в плоских и пространственных рамных системах с учетом физической нелинейности.

Исследовано влияние расположения и объема очагов пожара на формирование усилий в процессе развития пожара в плоских и пространственных рамных системах с учетом физической нелинейности. Показано, что при возникновении пожара в средних пролетах здания и его распространения на соседние пролеты существенно увеличиваются усилия в крайних колоннах, которые могут быть разрушены задолго до потери несущей способности колонн, непосредственно подвергающихся воздействию огня. Разработаны конструктивные решения, минимизирующие температурные усилия при пожаре.

В четвертом разделе приведены результаты экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния статически неопределимых железобетонных конструкций. Разработаны предложения по расчету огнестойкости монолитных железобетонных конструкций с новыми видами арматуры.

В пятом разделе разработаны оптимальные с точки зрения огнестойкости расчетные схемы многоэтажных зданий. Результаты исследований внедрены при разработке новой серии предварительно напряженных железобетонных 9-ти метровых пустотных плит, армированных стержневой арматурой класса А500С и А400С, изучения прочности свариваемых стыков и совместной работы с бетоном на ЖБК-5 г. Харькова; использованы при подготовке инструктивных документов и в методических рекомендациях для курсантов и слушателей ХИПБ МВД Украины.

Ключевые слова: огнестойкость, монолитные статически неопределимые конструкции, температурные напряжения, полные диаграммы “ σ - ϵ ” нового вида арматуры класса (А) при нагреве, прочность при неравномерном нагреве.

ABSTRACT

El Moutassim Larbi. A flame resistance of monolithic concrete designs building. - the Manuscript. A thesis on competition of a scientific degree of the candidate of engineering science on a speciality 05.23.01 — building designs, building and facility, Kharkiv state Academy of Railway Transport, Kharkiv, 2001.

The manuscript keeping mining of a technique of research of the full charts of new kinds(views) of the thermally hardened reinforcement (A), experimental researches strength and деформативных of the characteristics of the reinforcement of the class

A500C is defended at heating, detection of expediency of a padding strain hardening of the reinforcement of the class A500C.

The technique of a numerical modeling of temperature fields in sections (cross-sections) of basic elements of concrete designs of buildings is designed at unilateral, trilateral and quadrilateral heating and the input datas for calculation of lift capability of wire-frame hyperstatic concrete buildings on modern programmatic complexes are obtained.

Is designed a technique of calculation of a flame resistance of monolithic wire-frame buildings with allowance for of physical nonlinearity (non-linearity) of concrete both reinforcement at heating and cooling. The numerical researches of tight - strained state of hyperstatic concrete designs with allowance for influencings of local heating on strength of adjacent members, influencings of effect of a volume of the locuses of a fire, their arrangement, computational schemes of skeletons (frameworks), their spatial activity are conducted on a designed technique.

Are designed optimum from the point of view of a flame resistance the computational schemes of multi-storey buildings. The experimental researches of tight - strained state of hyperstatic concrete designs are conducted. The proposals on calculation of a flame resistance of monolithic concrete designs with new kinds (views) of the reinforcement are designed.

The outcomes of researches are inserted at mining a new series prestressed concrete 9-ти -м пустотних of tables, reinforced beam reinforcement of the class A500C and A400C, analysis of strength of welded joints and team working with concrete on ЗБК-5. Kharkovs; utilised at opening-up of the instruction documents and in the methodical guidelines for the cadets and listeners ХІІІБ МВС of Ukraine.

Keywords: a flame resistance, monolithic hyperstatic designs, temperature stresses, full charts " σ - ϵ " of a new kind (view) of the reinforcement of the class (A) at heating, strength at irregular heating.