

**ХАРЬКОВСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

На правах рукописи

ДЖАФАР ШАКЕР ХАЛЕД ШАХИН

**ОГНЕСТОЙКОСТЬ НЕРАЗРЕЗНЫХ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ
КОНСТРУКЦИЙ ПЕРЕКРЫТИЙ**

**Специальность 05.23.01 - строительные конструкции,
здания и сооружения
05.23.02 - пожарная безопасность**

АВТОРЕФЕРАТ

**диссертации на соискание ученой степени кандидата
технических наук**

Харьков - 1996

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность работы и степень исследованности тематики диссертации. Обеспечение требуемых пределов огнестойкости строительных конструкций связано с совершенствованием методов расчета на основе экспериментального изучения физико-механических характеристик материалов и работы их элементов в процессе нагрева.

Расчет огнестойкости изгибаемых железобетонных конструкций в настоящее время производится в предположении линейной связи между деформациями и напряжениями. Разработанная в ХГТУСА методика расчета прочности железобетонных сечений с учетом реальных законов деформирования и результаты исследования влияния высокотемпературного интенсивного нагрева на характер полных диаграмм "сигма - эpsilon" бетона и арматуры показывает, что учет физической нелинейности при нагреве позволяет не только уточнить предел огнестойкости железобетонных конструкций, но и раскрыть действительный качественный механизм напряженно-деформированного состояния в момент разрушения.

Широкое распространение статически неопределимых конструкций и неизученность их работы с учетом влияния температуры на параметры физической нелинейности бетона и арматуры обуславливает актуальность поставленной тематики.

В настоящее время проведены исследования реальных законов деформирования материалов и разработаны методы расчета напряженно-деформированного состояния железобетонных конструкций при нормальных температурах. Учеными Украинской школы занормированы параметры исходных диаграмм " σ - ϵ " для различных классов бетона и арматуры. Исследования при нагреве не проводились. Отсутствуют методики расчета, учитывающие различные формы связи напряжений и деформаций для различных волокон неравномерно нагретых сечений элементов, не выявлен характер перераспределения усилий, качество пластических шарниров

предельного состояния.

Целью настоящей работы является создание методов оценки огнестойкости и остаточной прочности изгибаемых статически неопределимых железобетонных элементов на основе изучения влияния нагрева на поля температуры, напряжения, деформации в пролетных и опорных сечениях железобетонных элементов и характера перераспределения усилий.

Для реализации поставленной цели намечены следующие основные задачи исследования.

1. Разработать методику расчета температурного поля в сечениях железобетонных элементов при одностороннем и многостороннем нагреве с учетом нелинейности теплофизических характеристик и дополнительного переноса влаги и тепла при наличии фильтрационного движения пара и воды, а также фазовых превращений.

2. Исследовать полную диаграмму " $\sigma - \varepsilon$ " бетона примененного для экспериментальных исследований прочности и деформативности неразрезных железобетонных конструкций.

3. Исследовать напряженно-деформированное состояние неразрезных железобетонных конструкций методами математического моделирования.

4. Разработать методику оценки огнестойкости и остаточной прочности неразрезных железобетонных конструкций.

5. Провести экспериментальное исследование работы нагруженных железобетонных элементов при нагреве, выявить закономерности их деформирования, образования и развития пластических шарниров в опорном и пролетном сечениях, сопоставить экспериментальные данные с результатами расчета по разработанной методике.

6. Внедрить результаты работы.

Объектом исследования являются неразрезные изгибаемые железобетонные конструкции перекрытий, их работа при температурном режиме пожара в стадии разрушения.

Методология исследований построена на использовании численных методов решения нелинейных дифференциальных уравнений теплопроводности с учетом фазовых переходов, напряженно - деформированного состояния на всех стадиях работы неразрезных железобетонных конструкций, экспериментальном выявлении влияния нагрева на прочностные и деформативные характеристики бетона, на основе которых разработана методика расчета огнестойкости и остаточной прочности, а также на экспериментальной проверке и внедрении результатов исследования в практику.

Лично полученные диссертантом результаты, которые выносятся на защиту :

- методика расчета температурных полей в сечениях железобетонных конструкций при одностороннем и многостороннем кратковременном интенсивном нагреве, алгоритм и программа расчета на ПК;

- результаты экспериментальных исследований влияния нагрева на прочность и деформативность бетона;

- результаты численного моделирования напряженно-деформированного состояния неразрезных железобетонных элементов при интенсивном нагреве ;

- результаты экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния нагруженных железобетонных элементов при нагреве;

- методика расчета огнестойкости и остаточной прочности ;

- внедрение разработанная методика в проектирование.

Д о с т о в е р н о с т ь полученных диссертантом результатов подтверждается корректностью методики, современным уровнем экспериментальных исследований, использованием методов математической статистики при обработке результатов и выводе эмпирических формул, удовлетворительным совпадением результатов проведенных экспериментов с расчетными данными по разработанным методикам, использованием последних достижений нелинейной теории железобе-

тона.

Научная новизна работы:

- разработана методика расчета распределения температуры в сечениях железобетонных конструкций при одностороннем и многостороннем нагреве с учетом изменчивости характеристик теплопереноса и фазовых превращений на основе применения консервативной конечно-разностной схемы и метода прямых, алгоритм и программа расчета на IBM PC/AT;

- проведен численный анализ результатов расчета по разработанным методикам, который выявил существенные уточнения расчетных полей температуры.

- проведено численное моделирование напряженно - деформированного состояния неразрезных изгибаемых железобетонных элементов с учетом влияния нагрева на полную диаграмму " σ - ϵ "; выявлены новые закономерности их работы;

- разработана методика расчета огнестойкости и остаточной прочности железобетонных конструкций;

- проведены экспериментальные исследования напряженно деформированного состояния двухпролетных железобетонных балок при воздействии нагрева и статической нагрузки, получены новые данные о влиянии нагрева на температурные усилия, деформации, огнестойкость и остаточную прочность.

Практическая значимость работы заключается в том, что разработанная методика, алгоритмы решения и программы на ПЭВМ позволяют повысить точность расчета огнестойкости и остаточной прочности неразрезных железобетонных конструкций перекрытий, разработать рациональные конструктивные решения с обеспеченным пределом огнестойкости.

Уровень реализации, внедрение результатов работы. Результаты работы внедрены Укргорстройпроектом при проектировании железобетонных перекрытий зданий и сооружений.

А п р о б а ц и я работы. Основные положения диссертации

представлены и обсуждены на Международной конференции "Совершенствование строительных материалов, технологий и методов расчета конструкций в новых экономических условиях" (г. Сумы, 1994г.), Международной конференции "Ресурсоэкономные материалы, конструкции, здания и сооружения" (г. Ровно, 1996г.), на первой Всеукраинской научно-технической конференции "научно-практические проблемы современного железобетона" (г. Киев, 1996г.), научных конференциях ХГТУСА 1994-1996 гг.

П у б л и к а ц и и. Основные положения диссертации опубликованы в 6 печатных работах.

О б ъ е м р а б о т ы. Диссертация состоит из введения, 6 глав, заключения, списка использованных источников из 139 наименований. Она включает 100 страниц машинописного текста, 4 таблицы и 99 рисунков.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первая глава посвящена анализу методов оценки огнестойкости конструкций перекрытий.

Проблемам огнестойкости железобетонных конструкций посвящены работы Бушева В. П., Мурашова В. И., Милованова А. Ф., Морозова В. Н., Романенкова И. Г., Циппельсона Я. М., Яковлева А. И. и др.

Огнестойкость неразрезных железобетонных конструкций значительно отличается от огнестойкости статически определимых. Проведенные опыты ВНИИПО показали, что при нагреве таких конструкций в них происходит перераспределение внутренних усилий, которые благоприятно сказываются на их огнестойкости.

При нормальных температурах исследованию неразрезных железобетонных конструкций посвящены работы Гвоздева А. А., Городецкого А. С. и Здоренко В. С., Бондаренко В. М., Дыховичного А. А., Зайцева Ю. В., Коковина О. А., Красовской Е. А., Крылова С. М., Маиляна Л. Р., Миславского Б. Г., Попова Н. Р., Н. Р. Чиркова Н. Р. и др.

Влияние температуры на усилия в элементах статически неопределимых железобетонных конструкций исследовались в НИИЖБ.

Расчет предела огнестойкости состоит из двух частей: теплотехнической и статической. В теплотехнической части определяется распределение температуры по сечению конструкции в процессе ее нагревания по стандартному температурному режиму.

В исследованиях, Бартелсми Б., Жукова В. В., Ильина Н.А., Мальхотра Х.Л., Милованова А.Ф., Мурашева В.И., Пчелинцева В.А. Ройтмана М.Я., Романенкова И.Г., Сегалова А. Е., Сычева В.Н., Яковлева А. Н. и др. выявлено существенное влияние влажности и избыточных давлений на распределение температуры при пожаре.

Расчету температурно-влажностных полей в строительных конструкциях из тяжелого бетона посвящены работы Александровского С. В., Богословского В. Н., Лыкова А. А., Плята Ш. Н., Ройтмана В. И. Фрида С. А., Фомина С. Л., Яковлева А. И. Анализ этих исследований показывает, что при интенсивном нагреве железобетонных конструкций пожарной средой наиболее существенными факторами теплового переноса является наличие испарения влаги в бетоне, ее фильтрационный перенос в результате градиента избыточного давления пара, существенное изменение характеристик от температуры, в связи с чем дифференциальное уравнение тепловлагопроводности становится нелинейным и требует специальных подходов и способов решения (Коздоба Л.А., Кранк Дж., Лыков А. В., Мацевитый Ю. М., Фридман Н., Роуч П., Рихтмайер Р., Самарский А. А., Тихонов А. Н., Хокни Р.).

Исследования, проведенные Бушевым Н. С., Зенковым Н. И., Зависновой Л.М., Кричевским А.П., Миловановым А.Ф., Некрасовым К. Д., Олимпиевым В.Г., Фоминым С.Л., Яковлевым А.И., показывают, что прочность тяжелого бетона на осевое сжатие и осевое растяжение при высоких и повышенных температурах существенно изменяется. Опытами установлено, что при нагревании до высоких температур прочность арматурной стали снижается.

Для выявления предельного состояния железобетонных элемен-

тов при неравномерном нагреве особое значение приобретает полная диаграмма "σ - ε" бетона и арматуры и влияние на эти диаграммы нагрева. Определением параметров полной диаграммы посвящены работы Байкова В.Н., Горбатова С.В., Димитрова З.А., Гольшпева А. Б., Бачинского В. Я., Морина А. Л., Бамбуры А. Н., Гуци Ю. П., Лемьша Л. Л., Evans R. M., Marate M. S. и др., на основе которых разработаны предложения к нормативным документам.

В результате выполненного анализа определены и сформулированы задачи настоящих исследований.

Во второй главе разработана уточненная методика расчета распределения температуры в сечениях железобетонных элементов при одномерном и двухмерном потоке тепла в результате одностороннего или многостороннего нагрева сечения при пожаре. Для описания температурного поля с учетом зависимостей теплофизических характеристик от температуры и фазовых превращений принята консервативная форма нелинейного дифференциального уравнения теплопроводности с эквивалентной теплоемкостью:

$$C_{\text{ред},t}(t)\gamma_0 \frac{\partial}{\partial \tau} = \nabla[\lambda_s \nabla t]; \quad (1)$$

$$C_{\text{ред},t} = C_s - r_t B_t; \quad (2)$$

При этом характеристика интенсивности фазовых превращений $B_t = \frac{\partial W}{\partial t}$ определяется по предложению А. В. Ройтмана из эксперимента.

Предложена следующая конечно-разностная схема уравнения (1):

$$\frac{\partial p}{\partial \tau} = \frac{f}{\gamma_0 C_{\text{ред},t}} \left\{ \Delta x (j_{xe} - j_{xw}) + \Delta y (j_{ym} - j_{ym}) \right\}, \quad (3)$$

в которой потоки определяются следующим образом:

$$j_{xe} = \lambda \left(\frac{t_p + t_E}{2} \right) \left(\frac{t_E - t_p}{\Delta x} \right) \quad (4)$$

$$j_{xw} = \lambda \left(\frac{t_p + t_w}{2} \right) \left(\frac{t_p - t_w}{\Delta x} \right) \quad (5)$$

$$j_{ym} = \lambda \left(\frac{t_N + t_p}{2} \right) \cdot \left(\frac{t_N - t_p}{\Delta y} \right) \quad (6)$$

$$j_{ys} = \lambda \left(\frac{t_p + t_s}{2} \right) \cdot \left(\frac{t_p - t_s}{\Delta y} \right) \quad (7)$$

Такая форма записи позволяет значительно уменьшить количество арифметических операций по сравнению с традиционной конечно-разностной аппроксимацией.

Граничные условия III рода:

$$-\lambda(t_w) \frac{\partial x}{\partial x} \Big|_w = \alpha(t_w)(t_{ext} - t_w) \quad (8)$$

аппроксимируются выражением:

$$(8 + B_1)t_w = B_1 t_{ext} + 9t_1 - t_2 \quad (9)$$

$$\text{где } B_1 = \frac{\Delta x \cdot \alpha}{\lambda};$$

$$t_w = \frac{B_1 t_{ext} + 9t_1 - t_2}{B_1 + 8} - \text{предсказанное значение температуры на стенке,}$$

по которому определяется величина потока. Поток через правую границу равен

$$j_w = \lambda(t_w) \cdot \frac{8t_w - 9t_1 + t_2}{\Delta x} \quad (10)$$

Аналогично подсчитываются потоки через остальные границы.

На основе изложенного алгоритма разработана программа расчета "FIRE" в табличном процессоре Excel For Windows. Программа функционирует под управлением интерактивной оболочки, позволяющей визуально контролировать вычислительный процесс и в случае проявления неустойчивости изменять шаг интегрирования по времени. На рисунке 1. показано температурное поле в тавровом сечении перекрытия, полученное по разработанной программе расчета.

В третьей главе изложены результаты экспериментальных исследований влияния интенсивного нагрева на полные диаграммы "σ - ε" бетона.

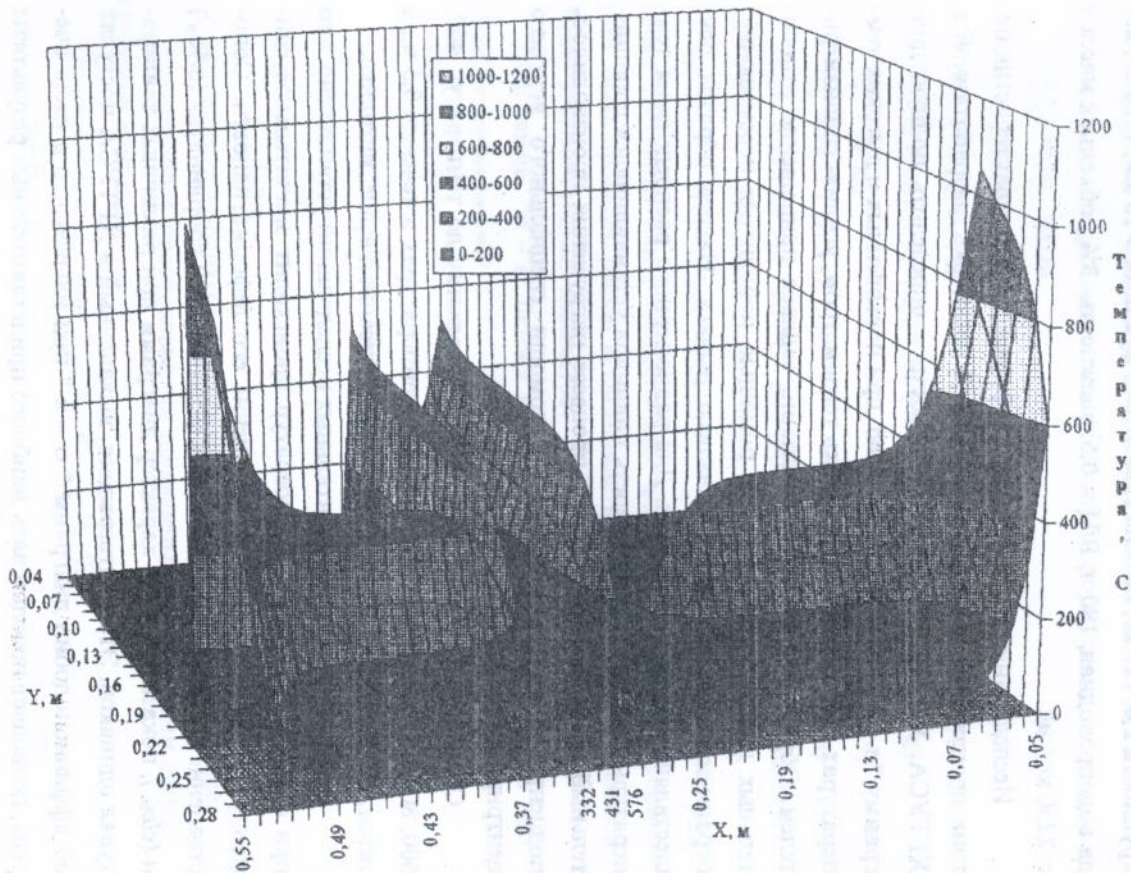


Рисунок 1. Температурное поле в сечении балки и плиты (3000 сек)

Применены образцы-полые цилиндры наружным диаметром 70 мм, внутренним диаметром 20 мм, высотой 350 мм из тяжелого бетона состава: портландцемент М400, 300 кг; песок кварцевый с модулем крупности 2,0, 720 кг; щебень гранитный фракции 5-10 мм, 1120 кг; вода водопродонная, 180 л; В/Ц = 0,6; влажность- 3% , объемная масса $\gamma = 2250 \text{ кг/м}^3$.

Исследование прочностных и деформативных характеристик бетона производилось на многорычажной установке, разработанной в ХГТУСА. Установка дает возможность определить полную диаграмму "σ-ε" с нисходящей ветвью при повышенных и высоких температурах. Деформации измерялись тензомером, усилие- силоизмерителем. Образцы загружались этапами, задавая приращение относительных деформаций бетона с помощью побудителя перемещений, ограничивающего поворот нижнего рычага. Нагрев образца осуществлялся в муфельной печи. Для равномерного распределения температуры во внутреннюю полость цилиндра устанавливался дополнительный электронагреватель. В процессе нагружения производилось подцентрирование образцов при помощи специального верхнего центрирующего устройства

Образцы нагревались по заданному режиму до температур 400, 600, 800 С°, выдерживались при этих температурах в течении 0,5 ч., а затем, после остывания, загружались по описанной выше методике..

В результаты экспериментальных исследований установлено, что при воздействии высоких температур происходит значительное снижение прочности бетона и повышение его деформативности. Сопоставление результатов испытаний в безразмерных координатах ($\sigma/R_{\text{н}}$) и ($\epsilon/\epsilon_{\text{н}}$), показывает, что характер диаграмм при различных температурах одинаков. Это подтверждает, выявленный в ХГТУСА постулат об аффинноподобии диаграмм "σ - ε" при нагреве, что в свою очередь, позволяет использовать наиболее представительные результаты нормирования полных диаграмм, полученных НИИСКом.

Аппроксимация перечисленных коэффициентов проведена с помощью программного комплекса "NUMERI" на IBM PC/AT. Показано, что изменение прочности и деформативности примененного в экспериментах бетона с достаточной точностью могут быть описаны полученными ранее следующими эмпирическими формулами:

$$R_{bt} = R_b \gamma_{bt} \text{ МПа} \quad (11)$$

$$\gamma_{bt} = 1.003 + 4.10^{-4}t - 2.4.10^{-6}t^2 + 1.35.10^{-9}t^3 \quad (12)$$

$$E_{bt} = E_b \beta_{bt} \text{ МПа} \quad (13)$$

$$\beta_{bt} = 1.009 - 1.5.10^{-3}t - 4.67.10^{-7}t^2 + 1.01.10^{-9}t^3 \quad (14)$$

$$\varepsilon_{Rt} = \varepsilon_R k_{bt} \quad (15)$$

$$k_{bt} = 0.92 + 1.10^{-3}t + 6.2.10^{-6}t^2 \quad (16)$$

При температуре 20 °С прочность на сжатие составляла $R_b = 17,9$ МПа, начальный модуль упругости $E_b = 2.25.10^4$ МПа.

На основе обобщения собственных результатов и литературных данных составлен пакет эмпирических формул, на основе которого может быть проведен расчет огнестойкости и остаточной прочности сечений железобетонных элементов.

Диаграмма " $\sigma - \varepsilon$ " бетона при нагреве будет описываться следующими уравнениями:

$$\text{при } \varepsilon_{buT} \leq \varepsilon_{bT} \leq 0$$

$$\sigma_{bT} = R_{bT} \left[a_1 \eta_T + a_2 \eta_T^2 + a_3 \eta_T^3 + a_4 \eta_T^4 + a_5 \eta_T^5 \right] \quad (17)$$

$$\text{где } \eta_T = \frac{\varepsilon_{bT}}{\varepsilon_{bRT}} \quad (18)$$

На рисунке 2 показана диаграмма " $\sigma - \varepsilon$ " бетона при нагреве.

Аналогичные преобразования проведены для диаграмм деформирования арматуры.

$$\text{При } \varepsilon_{scR} < \varepsilon_s < \varepsilon_{sR} \text{ или } R_{scT}/E_{sT} < \varepsilon_s < R_{sT}/E_{sT}$$

$$\sigma_s = E_{sT} \cdot \varepsilon_s \quad (19)$$

$$\text{при } \varepsilon_{scu} < \varepsilon_s < \varepsilon_{scR} \text{ или } \varepsilon_{buT} < \varepsilon_s < R_{scT}/E_{sT}$$

$$\sigma_s = R_{scT} \quad (20)$$

$$R_{ст} = \gamma_s R_s = (-0.61 + 1.26 \cdot 10^{-2} t - 2.81 \cdot 10^{-5} t^2 + 1.651 \cdot 10^{-8} t^3) R_s \quad (21)$$

$$E_{ст} = E_s \beta_s = (1.01 - 6.436 \cdot 10^{-4} t + 1.1 \cdot 10^{-6} t^2 - 1.3 \cdot 10^{-9} t^3) E_s \quad (22)$$

На рисунке 3 показана диаграмма "σ - ε" арматуры класса А-III

В четвертой главе исследовано напряженно-деформированное состояние элементов перекрытий в стадии близкой к разрушению методами вычислительного эксперимента с помощью программного комплекса "МИРАЖ", разработанного НИИАСС Украины.

В качестве объекта исследования выбрана неразрезная двухпролетная балка сечения 140 мм х 80 мм с армированием: в пролете-2ф8, на опоре-2ф10АIII, $R_b = 17.9 \text{ МПа}$, $E_b = 26000 \text{ МПа}$.

По упругой схеме рассчитаны эпюры моментов и поперечных сил при совместном воздействии грузов $P = 1,9 \text{ т}$, расположенных на расстоянии 48 см от средней опоры и неравномерного по высоте сечения распределения температуры для различных стадий нагрева.

Анализ полученных результатов показывает, что в процессе развития пожара увеличивается температурный момент, который полностью погашает пролетный момент. При достижении пролетным моментом предельного значения рост температурного момента прекращается в связи с образованием пластического шарнира в опорном сечении. Таким образом, дальнейшее повышение температуры будет влиять на напряженно-деформированное состояние посредством снижения прочности и увеличения деформативности материала.

Проведено численное моделирование напряженного состояния в двухпролетной балке при варьировании жесткости ее элементов и влияния изменения жесткости на перераспределение температурных моментов в балках при нагреве.

С целью более глубокого анализа распределения напряжений и деформаций в статически неопределимых системах при совместном воздействии нагрузки и нестационарного высокотемпературного нагрева использована дискретизация железобетонных элементов с применением элементов ПК МИРАЖ.

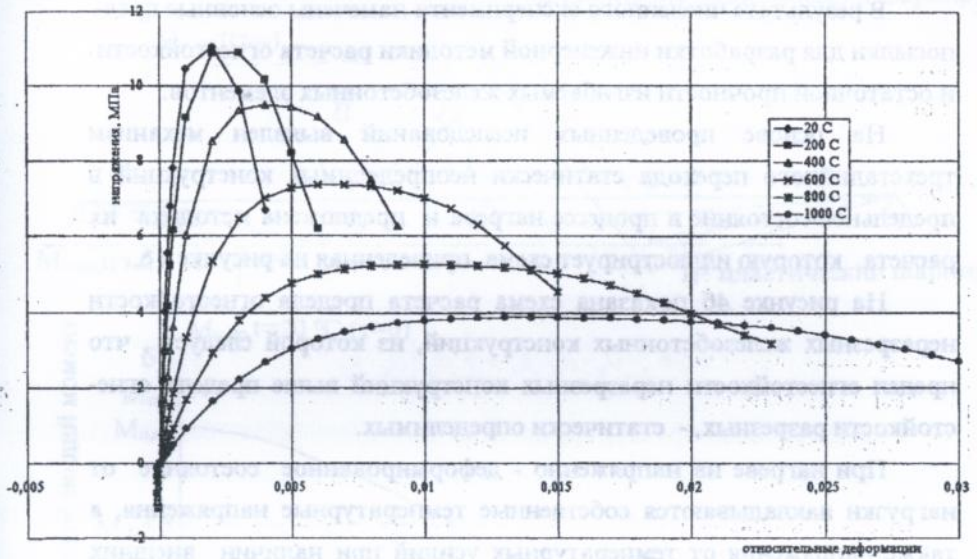


Рисунок 2. Диаграмма "напряжения-деформации" бетона при нагреве

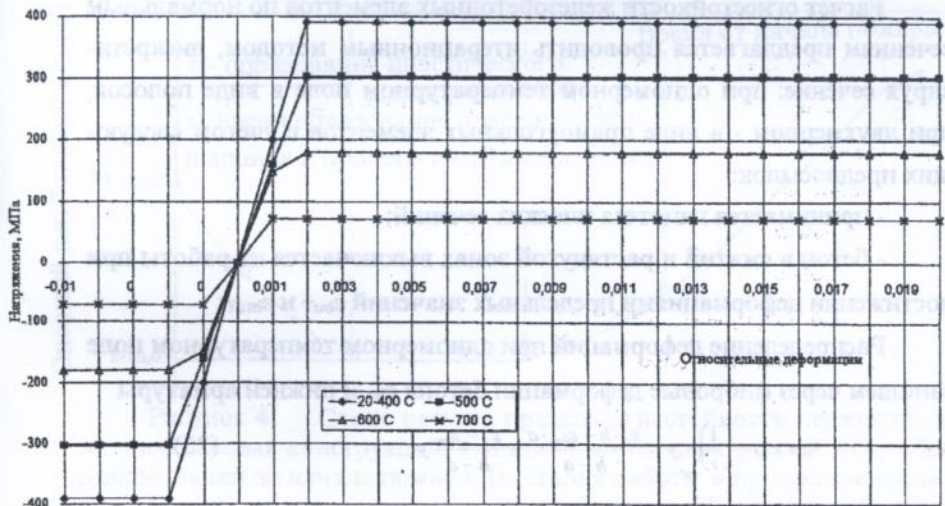


Рисунок 3. Диаграмма "напряжения - деформации" арматуры класса А III при нагреве

В результате численного эксперимента намечены основные предпосылки для разработки инженерной методики расчета огнестойкости и остаточной прочности изгибаемых железобетонных элементов.

На основе проведенных исследований выявлен механизм трехстадийного перехода статически неопределимых конструкций в предельное состояние в процессе нагрева и предложена методика их расчета, которую иллюстрирует схема, приведенная на рисунке 4а.

На рисунке 4б показана схема расчета предела огнестойкости неразрезных железобетонных конструкций, из которой следует, что предел огнестойкости неразрезных конструкций выше предела огнестойкости разрезных, - статически определимых.

При нагреве на напряженно - деформированное состояние от нагрузки накладываются собственные температурные напряжения, а также напряжения от температурных усилий при наличии внешних связей. Оценка остаточной прочности проводится по физико - механическим характеристикам бетона и арматуры при максимальных уровнях температуры предшествующего нагрева. Собственные и температурные напряжения в холодном состоянии отсутствуют.

Расчет огнестойкости железобетонных элементов по нормальным сечениям предлагается проводить итерационным методом, дискретизируя сечение: при одномерном температурном поле в виде полосок, при двухмерном - в виде прямоугольных элементов с учетом следующих предпосылок:

- принимается гипотеза плоских сечений;
- бетон в сжатой и растянутой зонах выключается из работы при достижении деформациями предельных значений ϵ_{bUT} и ϵ_{btUT} ;

Распределение деформаций при одномерном температурном поле запишем через фибровые деформации бетона ϵ_{bn} и нижней арматуры

$$\epsilon_s = \epsilon_{kst} + \left(\frac{1}{r}\right)_{kst} y = \frac{\epsilon_s \cdot h - \epsilon_{bn} \cdot a}{h - a} - \frac{\epsilon_s - \epsilon_{bn}}{h - a} y \quad (23)$$

Напряжения в i -той полоске бетона σ_{bi} и арматуре j -го ряда - σ_{bj} определим из (11-22) по деформациям:

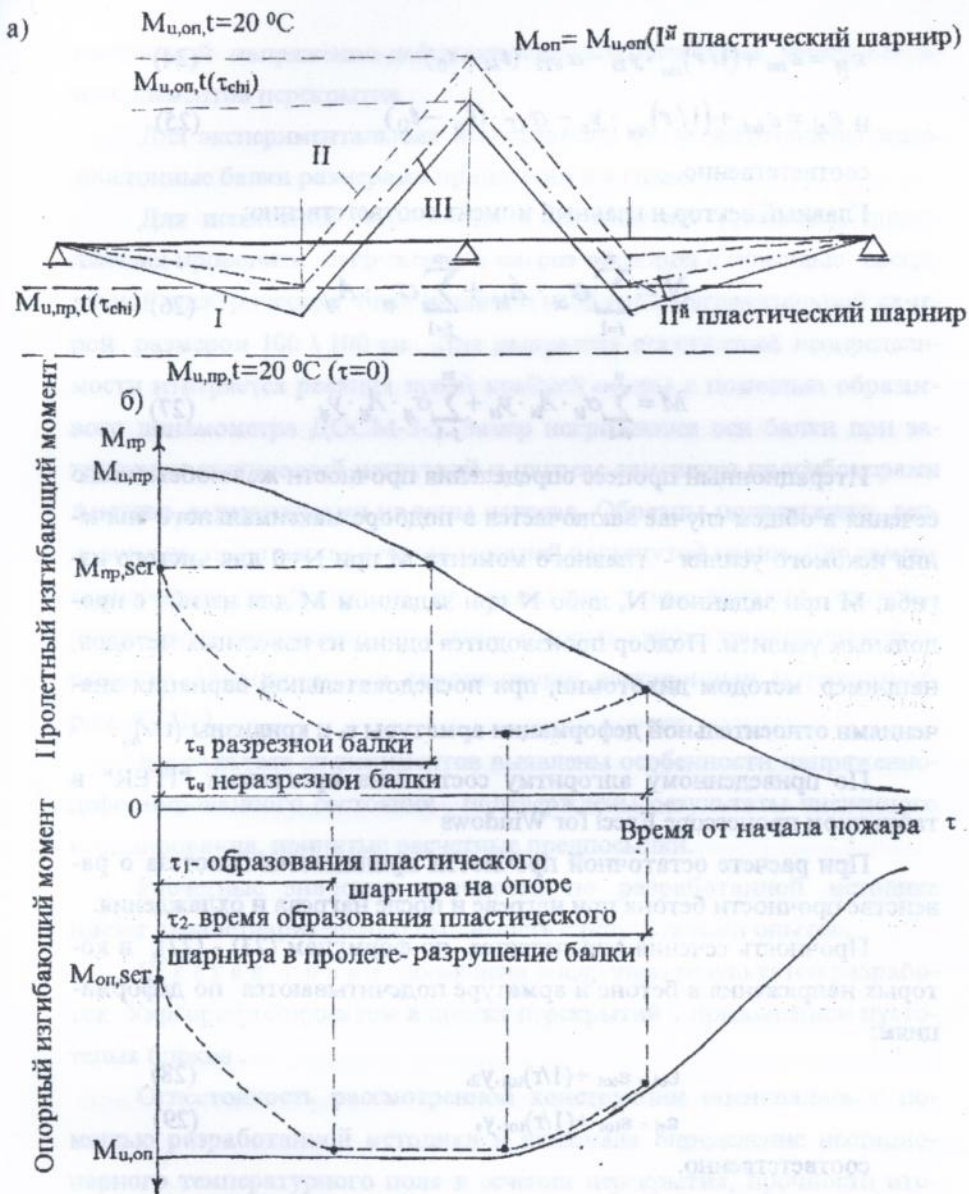


Рисунок 4. Схема расчета предела огнестойкости неразрезных железобетонных конструкций. I-стадия работы неразрезной железобетонной балки до начала пожара, II- стадия работы в процессе нагрева, образование пластического шарнира на опоре, III- стадия; снижение опорного момента в результате нагрева опорного сечения, увеличение пролетного момента до $M_{u,np,t}$, образование II пластического шарнира - разрушение балки.

$$\varepsilon_{bi} = \varepsilon_{tot} + (1/r)_{tot} \cdot y_{ib} - \alpha_{bTl} \cdot (t_{bi} - t_0) \quad (24)$$

$$\text{и } \varepsilon_{sj} = \varepsilon_{tot} + (1/r)_{tot} \cdot y_{sj} - \alpha_{sT} \cdot (t_{sj} - t_0) \quad (25)$$

соответственно.

Главный вектор и главный момент соответственно:

$$N = \sum_{i=1}^n \sigma_{bi} \cdot A_{bi} + \sum_{j=1}^m \sigma_{sj} \cdot A_{sj} \quad (26)$$

$$M = \sum_{i=1}^n \sigma_{bi} \cdot A_{bi} \cdot y_{bi} + \sum_{j=1}^m \sigma_{sj} \cdot A_{sj} \cdot y_{sj} \quad (27)$$

Итерационный процесс определения прочности железобетонного сечения в общем случае заключается в подборе максимального значения искомого усилия - главного момента M при $N=0$ для чистого изгиба, M при заданном N , либо N при заданном M для изгиба с продольным усилием. Подбор производится одним из известных методов, например, методом дихотомии, при последовательной вариации значениями относительной деформации арматуры ε_s и кривизны $(1/r)_{tot}$.

По приведенному алгоритму составлена программа "ITER" в табличном процессоре Excel for Windows

При расчете остаточной прочности принимается гипотеза о равенстве прочности бетона при нагреве и после нагрева и охлаждения.

Прочность сечения определяется по формулам (23) - (27), в которых напряжения в бетоне и арматуре подсчитываются по деформациям:

$$\varepsilon_{bi} = \varepsilon_{tot} + (1/r)_{tot} \cdot y_{ib} \quad (28)$$

$$\varepsilon_{sj} = \varepsilon_{tot} + (1/r)_{tot} \cdot y_{sj} \quad (29)$$

соответственно.

Анализ результатов расчета по этой методике показал значительное снижение прочности железобетонных элементов при нагреве со стороны сжатой зоны по сравнению с расчетом по СНиП.

В п я т о й главе изложены результаты экспериментальных ис-

следований напряженно-деформированного состояния железобетонных элементов перекрытия.

Для экспериментальных исследований были изготовлены железобетонные балки размерами принятыми в 4 главе.

Для испытания разработана и изготовлена установка, позволяющая проводить нагружение и нагрев образцов с помощью специальной электрической печи мощностью 55 квт с нагревательной камерой размером 100 \ 100 см. Для раскрытия статический неопределенности измеряется реакция левой крайней опоры с помощью образцового динамометра ДОСМ-3-5. Замер искривления оси балки при загрузке статический нагрузкой и нагреве замерялся прогибомерами Аистова, вынесенными из зоны нагрева. Образцы подвергались тепловому воздействию со стороны нижней растянутой грани. Для замера температуры в бетоне и на арматуре устанавливали хромель-алюмелевые термопары, показания которых автоматически регистрировались 12-ти точечным самопишущим электронным потенциометром КСП-2.

В результате экспериментов выявлены особенности напряженно-деформированного состояния, подтверждены результаты численного моделирования, принятые расчетные предпосылки.

Расчетные значения прочности по разработанной методике имеют удовлетворительную сходимость с результатами опытов.

Шестая глава посвящена внедрению результатов разработок Укргорстройпроектом в проект перекрытий с применением пустотельных блоков.

Огнестойкость рассмотренной конструкции оценивалась с помощью разработанной методики и включала определение нестационарного температурного поля в сечении перекрытия, прочности второстепенной балки и плиты, пределов их огнестойкости.

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Разработана уточненная методика численного расчета распределения температуры в сечениях железобетонных элементов при одно-

мерном и двумерном потоке тепла в результате одностороннего или многостороннего нагрева сечения при пожаре. Расчет получен на основе введения эффективной теплоемкости, учитывающей скрытую теплоту парообразования. В связи с существенной нелинейностью теплофизических характеристик для решения дифференциального уравнения теплопроводности применена консервативная конечно-разностная схема, повышающая точность решения.

Разработанная методика конечно-разностной аппроксимации нелинейного дифференциального уравнения теплопроводности по тепловым потокам позволяет значительно уменьшить количество арифметических операций по сравнению с традиционной методикой.

2. Разработана программа расчета температурных полей "Fiare" на IBM PC/AT в табличном процессоре Excel For Windows. Программа функционирует под управлением интерактивной оболочки. Программа позволяет проводить расчеты температурных полей в сечениях сложной геометрической конфигурации.

3. Выявлены закономерности деформативности бетона при интенсивном высокотемпературном нагреве. Установлено, что при высокотемпературном нагреве снижается прочность и увеличивается деформативность бетона.

Подтвержден постулат об аффинноподобии диаграмм " $\sigma - \varepsilon$ " при различных температурах, что позволяет воспользоваться наиболее представительными результатами нормирования НИИСК.а

4. Результаты численного моделирования напряженно-деформированного состояния неразрезных железобетонных конструкций с помощью ПК "МИРАЖ" выявили особенности их работы и позволили наметить основные предпосылки для разработки инженерной методики расчета огнестойкости.

Разработана методика расчета неразрезных статически неопределимых железобетонных конструкций на основе выявленного механизма трехстадийного ее перехода в предельное состояние.

Предложена методика расчета огнестойкости железобетонных конструкций по нормальным сечениям, основанная на учете реальных законов деформирования при нагреве и включающая итерационный процесс определения прочности при нелинейном распределении температуры по сечению. Разработана методика расчета остаточной прочности железобетонных сечений.

Разработана программа расчета огнестойкости и остаточной прочности "ITER" на IBM PC/AT в табличном процессоре Excel For Windows .

5. Экспериментально выявлено , что огнестойкость статически неопределимых неразрезных железобетонных конструкций значительно выше статически определимых разрезных эквивалентного сечения, что обуславливается возникновением в них температурного момента, который при нагреве снизу разгружает пролетные сечения и догружает опорные.

6. Обнаружено, что при определенных условиях возможно разрушение неразрезных железобетонных балок после охлаждения конструкции в связи с тем, что исчезновение температурного момента приводит к возвращению пролетного момента, а снизившаяся прочность пролетного сечения после нагрева ниже этого значения.

7. Выявлено, что пластический шарнир в опорном сечении вырождается в обычный шарнир в результате снижения опорного момента в связи с потерей прочности сжатой зоны и повышенной деформативности бетона. При этом происходит возрастание пролетных моментов до значений, превышающих проектную прочность сечения.

8. Прогибы нагретых пролетов, а также прогибы пролетов в холодном состоянии ранее нагреваемых пролетов выше, чем холодных пролетов при прочих равных условиях.

9. Высокотемпературный интенсивный нагрев без нагрузки приводит к трещинообразованию температурного характера и, следовательно, к снижению жесткости нагретого железобетонного элемента неразрезной балки.

Трехсторонний нагрев сечения балок существенно снижает огнестойкость и остаточную прочность сечения как в пролете, так и на опоре.

10. Расчетные значения прочности по разработанной методике имеют удовлетворительную сходимость с результатами опытов.

11. Методика расчета огнестойкости и остаточной прочности неразрезных железобетонных конструкций внедрена Укргорстройпроектом при проектировании железобетонных перекрытий с применением пустотелых блоков.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах :

1. Фомин С. Л., Джафар Шакер Шахин. Напряженно-деформированное состояние прямоугольных железобетонных плит, усиленных предварительным напряжением . // Материалы Международной научно-практической конференции “ Совершенствование строительных материалов, технологий и методов расчета конструкций в новых экономических условиях .г.Сумы: ИПП”Мрия” ЛТД, 1994г.- с.110.

2. Фомин С. Л., Джафар Шакер Шахин, Стельмах О. А. Огнестойкость неразрезных железобетонных элементов перекрытий. Сборник пожарной безопасности . Организационно-техническое обеспечение, Харьков, ХИПБ- МВД Украины, 1996г.- с.82-84.

3. Фомин С. Л., Стельмах О. А., Джафар Шакер Шахин. Огнестойкость центрально сжатых железобетонных элементов. Сборник пожарной безопасности . Организационно-техническое обеспечение, Харьков, ХИПБ- МВД Украины, 1996г.- с.78-81.

4. Фомин С. Л., Джафар Шакер Шахин. Уточненный расчет огнестойкости в железобетонных конструкциях // Тезисы докладов Международной научно-технической конференции “Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та споруди” г.Ровно, 1996г.

5. Джафар Шакер Шахин. Работа неразрезных железобетонных конструкций // Тезисы докладов Международной научно-технической конференции “Ресурсоекономні матеріали, конструкції, будівлі та спо-

руди" г.Ровно, 1996г.

6. Фомин С. Л., Джафар Шакер Шахин, Стельмах О. А., Огнестойкость сжатых, изгибаемых и неразрезных железобетонных элементов. // Тезисы первой Всеукраинской научно-технической конференции "научно-практические проблемы современного железобетона" Киев, 1996г.

АННОТАЦИЯ

Джафар Шакер Халед Шахин . Огнестойкость неразрезных железобетонных конструкций перекрытий. Рукопись диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 - строительные конструкции, здания и сооружения и специальности 05.23.02 - пожарная безопасность. Харьковская государственная академия железнодорожного транспорта. Харьков, 1996.

Разработаны методы оценки огнестойкости и остаточной прочности неразрезных 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 арматура, по которым составлены программы расчета на ПК.

Результаты работы внедрена Укргорстройпроектом при проектировании зданий и сооружений.

Ключевые слова : температурное поле при пожаре, полные диаграммы " σ - ϵ " бетона и арматуры при нагреве, предельное состояние неразрезных конструкций, огнестойкость, остаточная прочность.

SUMMARY

Jaafar Shaker Khaled Shahin. Fire-staunsh continuous reinforced concrete of designs of overlaps. The manuscript of the dissertation for a

435911

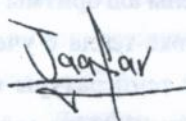
scientific degree of the candidate of technical sciences of a specialty 05.23.01 - building designs, building a structure and specialty 05.23.02 - fire safety. Kharkov State Academy of a railway transport. Kharkov, 1996.

Methods of valuation of Fire-staunsh and residual strength continuous reinforced concrete of designs on the basis experimental of study of influence of high-temperature intensive heating on the complete diagrams " σ - ϵ " a concrete, laws of work statically indeterminate reinforced concrete of designs are developed.

Algorithms of account of distribution of temperature are offered at two-dimensional a flow is warm in view of dependences heatphysical characteristic from temperature and phase conversions; account of strength at heating and after cooling in view of physical nonlinearity of a concrete and fixture, on which programs of account on ПК are made.

Results of work is introduced Ukrgorstroeproikt at designing of buildings and structures.

Key words: a temperature field at a fire, complete diagrams " σ - ϵ " a concrete and fixture at heating, limiting condition continuous of designs, Fire-staunsh, residual strength.



Ответственный за выпуск
Романенко В.В.

Подписано в печать 06.11.96 г.

Формат бумаги 60x84 1/16 Бумага для множительных аппаратов.

Печать офсетная. Усл. печ. лист. 1,0, уч. изд. л. 1,25.

Зак. 608, Тираж 100 экз. Бесплатно.

Изд. ХГАЖТ, 310050, г. Харьков-50, пл. Фейербаха, 7.

Тип. ХГАЖТ, 310050, г. Харьков-50, пл. Фейербаха, 7.