

**ХАРЬКОВСКАЯ ГОСУДАРСТВЕННАЯ АКАДЕМИЯ
ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ТРАНСПОРТА**

БУТЕНКО СЕРГЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ

УДК 624.012.46:53.096

**УСИЛЕНИЕ ФУНДАМЕНТОВ ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТОВ
ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ ПО КОНТУРУ**

Специальность 05.23.01 - строительные конструкции,
здания и сооружения

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Харьков - 2000

Диссертация является рукописью.

Работа выполнена на кафедре железобетонных и каменных конструкций Харьковского государственного технического университета строительства и архитектуры Министерства образования и науки Украины.

Научный руководитель

- доктор технических наук, профессор
Фомин Станислав Леонидович,
профессор кафедры железобетонных и
каменных конструкций Харьковского
государственного технического
университета строительства и архитектуры

Официальные оппоненты:

- доктор технических наук, профессор
Кричевский Александр Павлович,
профессор кафедры железобетонных
конструкций Донбасской государственной
академии строительства и архитектуры;

- кандидат технических наук, доцент
Молодченко Геннадий Анатольевич,
заведующий кафедрой строительных
конструкций Харьковской государственной
академии городского хозяйства.

Ведущая организация - Научно-исследовательский институт строительных конструкций Государственного комитета Украины по делам строительства, архитектуры и жилищной политики. Лаборатория теории и методов расчета железобетонных конструкций (г. Киев).

Защита состоится «29» июня 2000 г. в 13⁰⁰ часов на заседании специализированного ученого совета Д.64.820.02 Харьковской государственной академии железнодорожного транспорта по адресу: 61050, г. Харьков, пл. Фейербаха, 7.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Харьковской государственной академии железнодорожного транспорта по адресу: 61050, г. Харьков, пл. Фейербаха, 7.

Автореферат разослан «27» мая 2000 г.

Ученый секретарь
специализированного ученого совета,

кандидат технических наук, доцент

Ермак Е. М.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В различных отраслях промышленности, таких как черная и цветная металлургия, нефтеперерабатывающая, химическая и др., получили широкое распространение круглые и многоугольные фундаменты тепловых агрегатов. Это фундаменты доменных печей, дымовых труб, МГД-генераторов, воздухонагревателей, градирен, установок для сухого тушения кокса, железобетонных конструкций биологической защиты атомных реакторов и др. Указанные фундаменты работают на статические нагрузки и температурные воздействия.

На промышленных предприятиях Украины в настоящее время производятся работы в основном по реконструкции существующих агрегатов. При этом возникает необходимость усиления фундаментов тепловых агрегатов в связи с увеличением нагрузок, изменением рабочих отметок и геометрических размеров оборудования.

Как показывают расчетно-конструкторские проработки проектных организаций (Приднепровский, Харьковский, Московский ПромстройНИИпроекты, Гипромезы и др.) традиционными методами не удастся произвести усиление существующих фундаментов, в связи с чем возникает необходимость их разборки и устройства новых фундаментов. Такое решение приводит к удорожанию, существенному увеличению сроков реконструкции и, как правило, оказывается непосильным для предприятий.

Действующие нормы проектирования не содержат указаний по расчету несущей способности конструкций, поврежденных температурным воздействием.

Актуальность научных разработок по теме обусловлена необходимостью усовершенствования конструктивных решений усиления железобетонных фундаментов, в том числе после воздействия высоких технологических температур, недостаточной мерой проработки проблемы и необходимостью снижения энергетических и материальных затрат, возможностью проведения усиления без остановки действующего производства.

Связь работы с научными программами. Работа выполнялась в соответствии с координационным планом научно-исследовательских работ (межвузовских научных и научно-технических программ) на 1997-1999 годы по госбюджетной теме № 0037 “Разработка усиленных железобетонных конструкций после воздействия технологических температур и пожара”.

Целью исследования является создание способа усиления фундаментных плит путем предварительного обжатия их по периметру, разработка метода их расчета, в том числе после воздействия технологических температур; внедрение в проектирование и строительство.

Основные задачи исследования.

1. Разработать способ усиления фундаментов направленным формированием поля напряжений с помощью предварительного напряжения контура.
2. Разработать методики регулирования напряженного состояния в железобетонных плитах при создании предварительного напряжения контура.
3. Разработать конструктивные решения усиления прямоугольных, многоугольных и круглых в плане фундаментов и методики их расчета.

4. Исследовать напряженно-деформированное состояние в круглых и кольцевых фундаментных плитах при нагреве.

5. Разработать методику расчета трещиностойкости и прочности железобетонных круглых и кольцевых плит с учетом полных диаграмм “ σ – ε ” бетона и арматуры при нагреве.

6. Экспериментально исследовать прочность и деформативность железобетонных плит, усиленных разработанным способом.

7. Экспериментально исследовать напряженно-деформированное состояние круглых плит при нагреве.

8. Внедрить результаты разработок в проекты реконструкции.

Объект исследования. Железобетонные плитные фундаменты тепловых агрегатов, усиленные предварительным напряжением контура и работающие на совместное воздействие температуры и нагрузки.

Научная новизна работы:

- предложен новый способ усиления железобетонных конструкций фундаментов тепловых агрегатов, который предполагает создание направленного поля напряжений в плите путем предварительного напряжения контура;

- определены пути формирования напряженно-деформированного состояния, позволяющие управлять распределением внутренних усилий;

- разработаны конструктивные решения усиления круглых, кольцевых, прямоугольных и многоугольных в плане фундаментов;

- сформулированы новые научные положения для разработки инженерной методики, основанные на результатах математического моделирования напряженно-деформированного состояния в круглых и кольцевых железобетонных плитах при чистом изгибе, осесимметричном нагреве и задержанных температурных деформациях;

- разработана методика определения жесткости при изгибе криволинейных брусьев, температурных напряжений в замкнутых криволинейных брусьях, методика расчета прочности и трещиностойкости радиальных сечений с учетом полных диаграмм “ σ – ε ” бетона и арматуры при различных температурах;

- экспериментально обоснован предложенный метод усиления;

- проведены экспериментальные исследования распределения напряжений и деформаций в круглых железобетонных плитах при чистом изгибе, осесимметричном по радиусу неравномерном нагреве и воздействии температурного момента.

Достоверность полученных 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 железобетона.

Практическое значение полученных результатов состоит в том, что предложенный способ усиления фундаментов, методика регулирования усилий в преднапряженных по контуру плитах и разработанная методика их расчета на

трещиностойкость, прочность с учетом температурных воздействий обеспечивают возможность рационального проектирования и реализации реконструкции уникальных фундаментов тепловых агрегатов, что открывает перспективу существенного снижения затрат на их усиление.

Внедрение работы. Результаты работы внедрены в проекты реконструкции фундаментов доменной печи № 5 Енакиевского и доменной печи № 3 Макеевского металлургических заводов.

Личный вклад соискателя определяется:

- разработкой нового способа усиления железобетонных конструкций фундаментов тепловых агрегатов;
- разработанными конструктивными решениями усиления круглых, кольцевых, прямоугольных и многоугольных в плане фундаментов;
- предложенными расчетными моделями управления напряженным состоянием в конструкциях фундаментов;
- разработанной методикой определения жесткости при изгибе криволинейных брусьев, температурных напряжений в замкнутых криволинейных брусьях, методикой расчета прочности и трещиностойкости радиальных сечений с учетом зависимости полных диаграмм " σ - ε " бетона и арматуры от температуры;
- экспериментальными исследованиями прочности и деформативности прямоугольных железобетонных плит, усиленных предложенным способом, экспериментальными исследованиями работы криволинейных железобетонных брусьев при нагреве;
- инженерной методикой расчета усиленных фундаментов;
- внедрением разработанных решений.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались на второй Всеукраинской научно-технической конференции "Научно-практические проблемы современного железобетона" (Киев, 1999г.), научных конференциях ХГТУСА 1995 - 1999 гг.

Публикации. Основное содержание работы опубликовано в 6 печатных работах. Получено положительное решение о выдаче патента Украины на изобретение (заявка № 99042203).

Объем работы. Диссертация состоит из введения, 5 разделов, включающих экспериментальную и теоретическую части, выводов, списка использованных источников из 131 наименований и 3 приложений. Она содержит 226 страниц, в том числе 132 страницы машинописного текста, 139 рисунков, 1 таблицу.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первом разделе проведен аналитический обзор конструктивных решений фундаментов тепловых агрегатов и способов их усиления при реконструкции, который показал, что применение традиционных методов усиления, например, путем установки дополнительной арматуры, устройства дополнительной железобетонной плиты поверх существующей и др. невозможно по техническим и технологическим требованиям. Способы усиления фундаментов, включающие создание предварительно напряженной обоймы, позволяют ввести в работу

основание под уширенной частью фундамента, но не дают возможности увеличения несущей способности центральной зоны фундаментной плиты.

Задачей разработки способа усиления фундаментов ставилось создание направленного поля напряжений в плите путем предварительного напряжения контура.

Широкие исследования работы предварительно напряженных конструкций проведены в работах Бердичевского Г.И., Гвоздева А.А., Голышева А.Б., Горюнова Б.Ф., Гущи Ю.П., Дмитриева С.А., Мадатяна С.А., Маиляна Р.Л., Маркарова Н.А., Михайлова В.В., Гийона Н.И., Дишингера Ф., Леонгардта Ф. и др.

Работами отечественных ученых заложены основные предпосылки для расчета и конструирования кольцевых железобетонных фундаментов, работающих при повышенных и высоких температурах. Однако целый ряд существенных положений до настоящего времени остался неосвещенным.

Гвоздевым А.А. впервые изложена методика расчета прочности и трещиностойкости железобетонных конструкций при воздействии повышенной температуры. Применительно к расчету дымовых труб Мурашевым В.И. разработана методика расчета железобетонных конструкций кольцевого сечения по предельным состояниям. На основе этой методики разрабатываются принципы расчета и проектирования фундаментов доменных печей. Экспериментальное обоснование указанных методик проведено в работах Немировского Я.М., Альтшулера Б.А., Куренкова Л.Ф. Результаты этих исследований явились основой для разработки нормативных документов по расчету железобетонных дымовых труб и фундаментов доменных печей на температурные воздействия. Обобщению результатов исследования железобетонных элементов кольцевого сечения и дальнейшему развитию методики их расчета посвящены работы Милонова В.М. и Горячева В.Н. Температурные напряжения в стенах цилиндрических силосов исследованы Кричевским А. П., Молодченко Г.А. и др.

Расчет величины предельных моментов, воспринимающихся радиальным сечением железобетонного кольцевого элемента, основан на следующих основных предпосылках Мурашева В.И.: 1) за предельное состояние принимается образование пластического шарнира в растянутой зоне или исчерпание несущей способности сжатой зоны; 2) бетон рассматривается как упруго-пластический материал с учетом изменения его физико-механических свойств при воздействии температуры.

Толстостенные железобетонные кольцевые конструкции в большинстве случаев могут классифицироваться как слабоармированные. Работа конструкции рассматривается в стадии IIa, методика расчета разработана Альтшуллером В.А. применительно к расчету фундаментов доменных печей.

Проведенный обзор результатов исследования работы железобетонных кольцевых элементов показывает, что методика их расчета построена на основных положениях теории изгиба прямых брусьев. Однако, как показано в работах Фомина С.Л., кольцевые железобетонные конструкции и сплошные железобетонные диски должны рассматриваться как статически неопределимые

кривые брусья, распределение деформаций и напряжений в которых существенно отличается от их распределения в прямых брусьях.

Гвоздевым А.А. и Байковым В.Н. отмечалось, что уточнение теории железобетона в стадии, близкой к разрушению, может быть проведено с использованием полной диаграммы “ $\sigma - \varepsilon$ ” бетона. Определению параметров полной диаграммы посвящены работы Байкова В.Н., Бамбуры А.Н., Барашикова Я.А., Бачинского В.Я., Голышева А.Б., Горбатова С.В., Гуци Ю.П., Дмитриева С.А., Лемыша Л.Л., Ивашенко Ю.А., Климова Ю.А., Кричевского А.П., Лобанова А.Д., Морина А.Л. и др., на основе которых разработаны предложения включенные в нормативные документы.

Экспериментальные исследования ХГТУСА выявили существенное влияние нагрева на параметры полной диаграммы “ $\sigma - \varepsilon$ ” и подтвердили необходимость ее учета.

В результате выполненного анализа определены и сформулированы задачи настоящих исследований.

Второй раздел посвящен разработке способа усиления фундаментов направленным формированием поля напряжений. Поставленная задача решается путем установки по периметру фундаментной плиты в нижней ее части высокопрочной арматуры, создания в ней заданного предварительного напряжения путем оттягивания от боковой поверхности плиты домкратами, фиксации с помощью специальных подкладок, вставляемых между арматурой и поверхностью плиты или стягивания арматурных стержней друг с другом специальными стяжными болтами. После предварительного обжатия плиты устраивается железобетонная рубашка для защиты преднапряженной арматуры от коррозии. Железобетонная рубашка при необходимости уширения плиты может выполняться с опорным поясом по ее периметру и заглубленным ниже ее подошвы (рішення про видачу патенту на винахід № 99042203 від 25.10.1999 р.).

На рис. 1а показана последовательность операций способа усиления прямоугольной железобетонной фундаментной плиты. По углам плиты 1 устанавливаются опорные детали 2, в которые закрепляют дополнительную арматуру 3 по всему периметру плиты. Арматуру 3 напрягают путем оттягивания, например, домкратами (направление показано стрелками), закрепляют специальными подкладками 4, вставленными между арматурой и поверхностью плиты, или стягивают арматурные стержни 3 между собой и закрепляют их с помощью стяжных болтов 5. Управление полем напряжений осуществляется путем подбора площади напрягаемой арматуры в продольном и поперечном направлениях и величины их предварительного напряжения. После предварительного обжатия плиты железобетонную рубашку выполняют в виде "шпоры" - заглубленном ниже подошвы фундамента плиты железобетонном поясе.

В зависимости от геометрической формы фундаментов разработаны различные конструктивные решения их усиления. Для круглых и кольцевых в плане фундаментов способ усиления состоит в установке кольцевой арматуры на боковой поверхности и ее натяжения с помощью специальных приспособлений (рис. 1б). Для многоугольных в плане фундаментов применяют либо способ усиления

прямоугольных плит, либо превращают фундамент в круглый путем устройства металлических или железобетонных сегментных блоков, поверх которых устанавливают

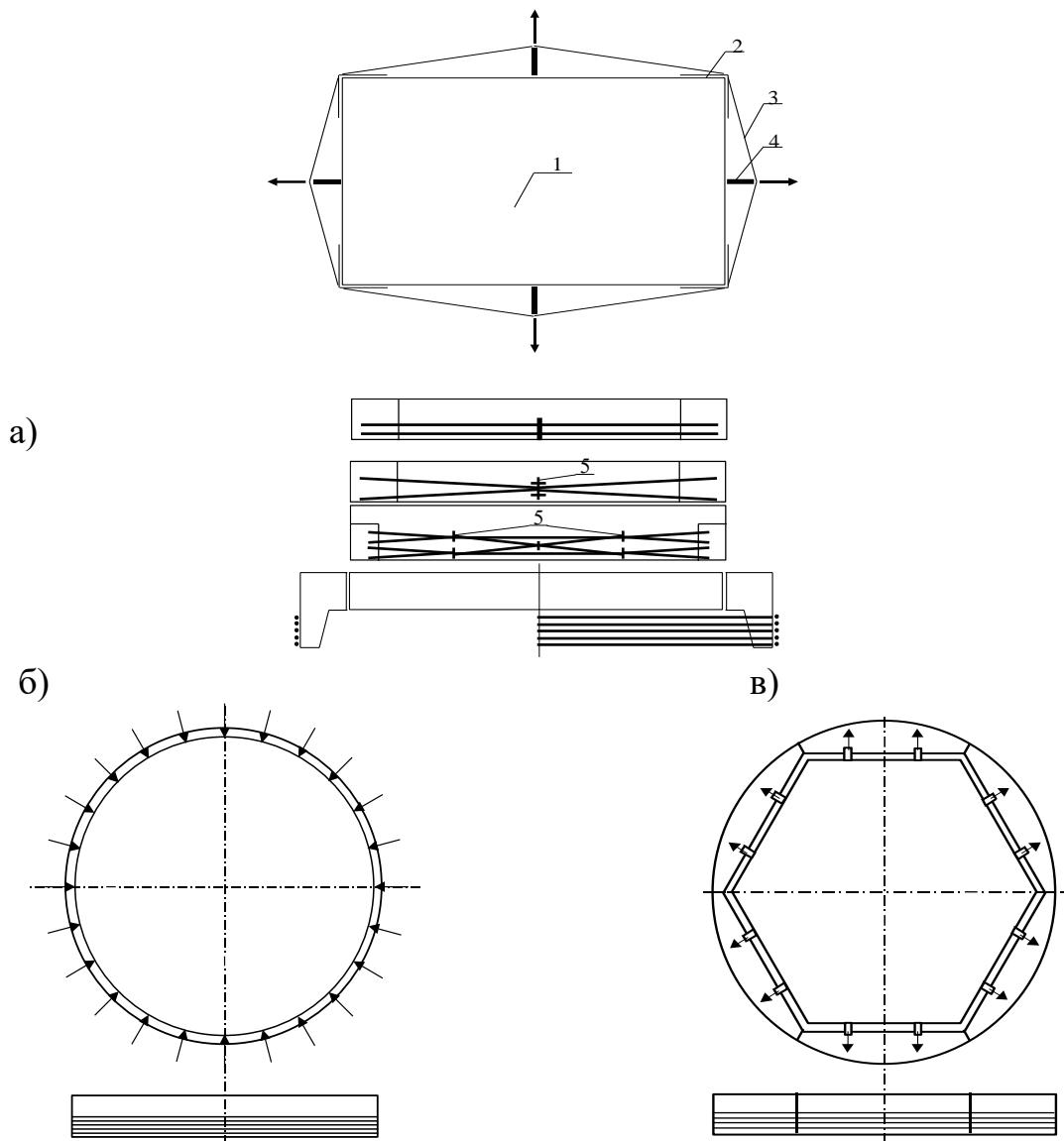


Рис. 1 Усиление прямоугольных (а), круглых (б) и многоугольных (в) в плане фундаментов

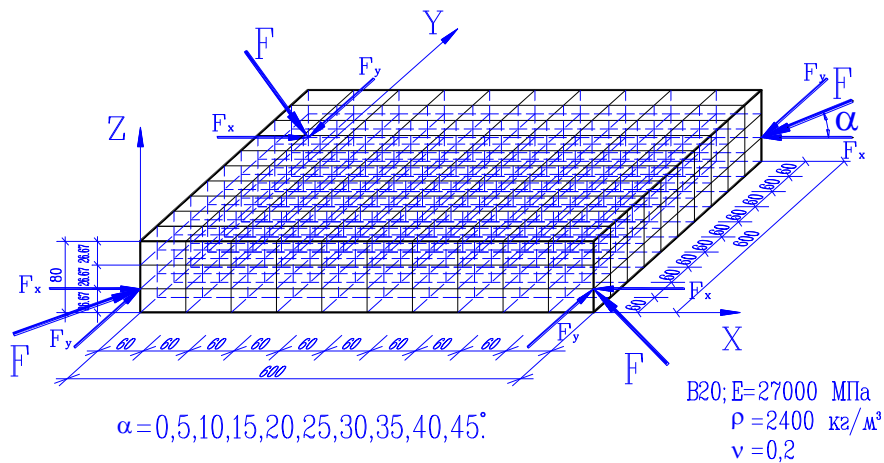


Рис. 2 Расчетная схема плиты

кольцевую арматуру. Ее напрягают путем оттягивания сегментов домкратами от поверхности плиты с последующим бетонированием зазоров (рис. 1в).

Уточнена методика расчета фундаментных плит, разработана программа для расчета фундаментных плит доменных печей, позволяющая определить внутренние усилия в плите и реактивное давление грунта при различных величинах и схемах приложения системы внешних нагрузок и изменении размеров плиты.

В третьем разделе изложены результаты математического моделирования напряженно-деформированного состояния в фундаментных плитах при их усилении обжатием контура. Напряженно-деформированное состояние определялось методом конечных элементов. В результате выявлено неравномерное распределение напряжений в различных сечениях плиты.

Управление полем напряжений осуществляется путем подбора площади сечения напрягаемой арматуры в продольном и поперечном направлениях, величины их предварительного напряжения и места приложения равнодействующей усилия обжатия по высоте сечения или вне его с помощью устройства железобетонной обоймы, заглубленной ниже подошвы фундамента.

Рассчитана бетонная плита размерами 600х600х80 мм, к которой приложены сосредоточенные усилия $F = 14,14$ т ($F_x = 10$ т, $F_y = 10$ т) в углах по центральной оси и на расстоянии $1/3$ высоты h от нижней поверхности. Принят бетон класса В20, $E_g = 27000$ МПа, $\rho = 2400$ кг/м³, $\nu = 0,2$. Расчетная схема плиты представлена 300-ми объемными элементами (3 слоя по высоте). В продольном и поперечном направлениях сечение разбивалось на 10 частей по длине с шагом $\Delta x = \Delta y = 60$ мм и на 3 части по высоте с шагом $\Delta h = 26,6$ мм (рис. 2). Различные соотношения усилий обжатия в продольном и поперечном направлениях моделировались различными углами наклона α равнодействующей F , приложенной в углах плиты: 0, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45°.

Выявлено неравномерное распределение напряжений в различных сечениях плиты. На рис. 3 показаны диаграммы напряжений σ_x , σ_y в 1-м снизу слое плиты ($z = 13,3$ мм) для угла наклона равнодействующей обжатия $\alpha = 0^\circ$ и $\alpha = 45^\circ$. По эпюрам напряжений подсчитывались значения продольных усилий N и изгибающих моментов M для i -той полоски сечения

Распределение изгибающих моментов и продольных сил в сечениях плиты для $\alpha = 0^\circ$ и $\alpha = 45^\circ$ показано на рис. 4, из которого следует, что величина и форма распределения этих усилий зависит от угла наклона усилия обжатия F . Для середины сечения плиты, зависимости моментов и продольных сил от угла наклона F описываются следующими эмпирическими формулами:

$$M_x = 3 \cdot 10^{-6} \alpha^2 + 6 \cdot 10^{-5} \alpha - 0,0244 \quad (1)$$

$$M_y = 1 \cdot 10^{-6} \alpha^2 - 0,0005 \alpha + 0,003 \quad (2)$$

$$N_x = 0,0011 \alpha^2 - 0,468 \alpha + 2,7123 \quad (3)$$

$$N_y = 0,0034 \alpha^2 + 0,0564 \alpha - 25,358 \quad (4)$$

Выявленное сложное напряженно-деформированное состояние показывает, что с помощью изменения наклона равнодействующей усилий, приложенных в углах плиты, и их эксцентриситетов относительно центра тяжести приведенного сече

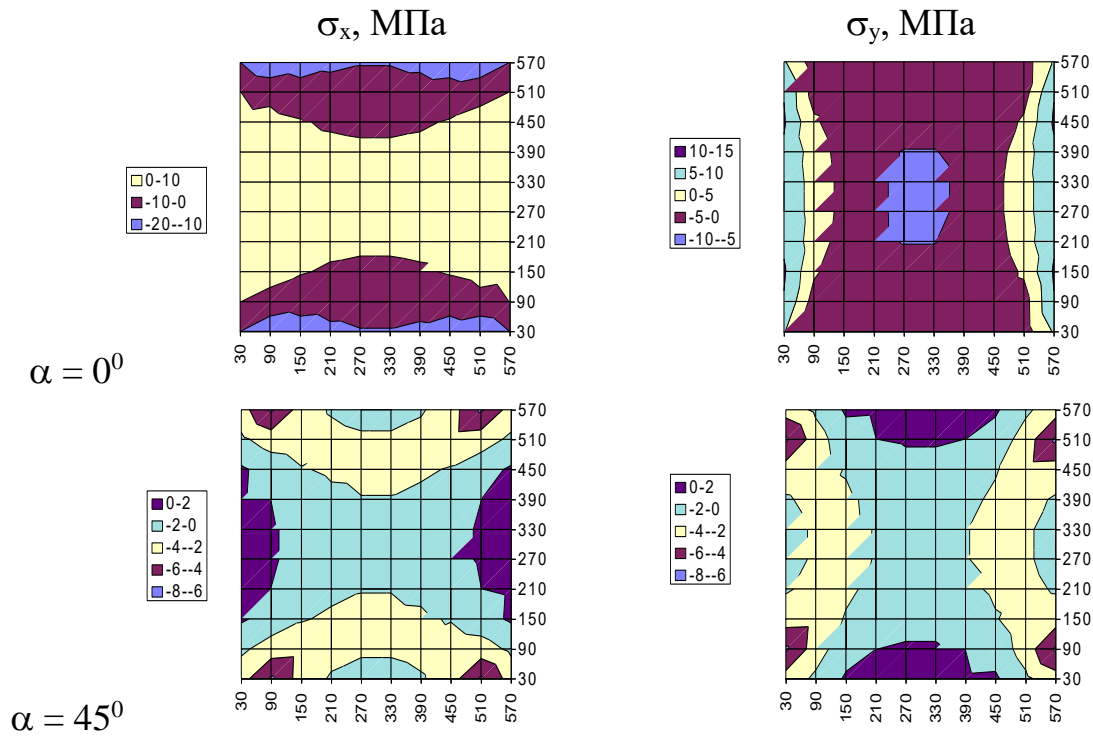


Рис. 3 Эпюры распределения напряжений σ_x и σ_y в нижнем слое плиты

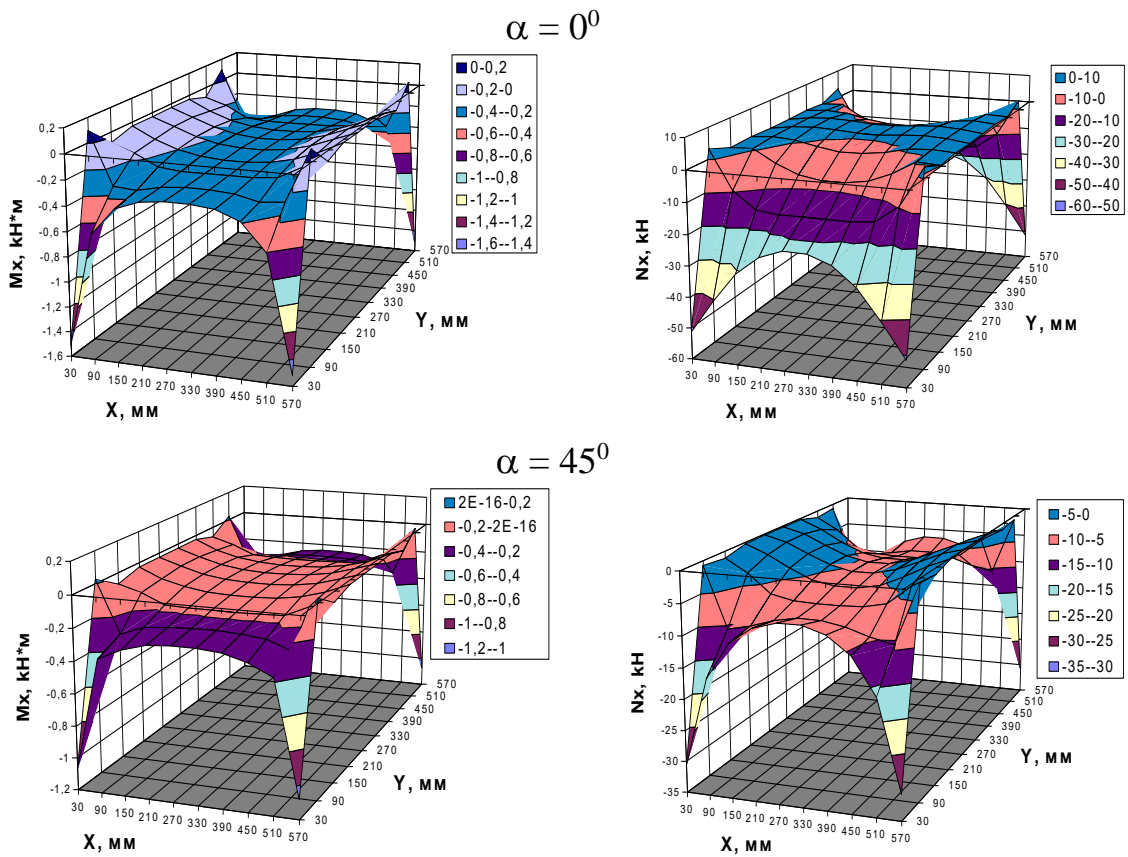


Рис. 4 Диаграммы распределения изгибающих моментов и продольных сил в среднем сечении плиты

ния представляется возможным формировать необходимое напряженное состояние. Для направленного создания заданного напряженно-деформированного состояния без расчета на ЭВМ необходимо иметь таблицы распределения продольных усилий N_{ix} и N_{jy} в элементах сечений плиты при ее центральном обжатии единичными усилиями в углах и таблицы распределения изгибающих моментов M_{ix} и M_{jy} в элементах сечений при воздействии единичных моментов в углах плиты.

С целью создания таких таблиц проведено численное моделирование напряженно-деформированного состояния рассмотренных выше плит с различным соотношением сторон: 1/1 (600x600x80 мм), 1/1,5 (600x900x80 мм) и 1/2 (600x1200x80 мм). Для каждого размера плиты варьировался угол приложения равнодействующей в углах $F = 14,14$ т при центральном сжатии и изгибающего момента $M = 0,18853$ тм при изгибе плит.

Напряженное состояние в элементах сечений при центральном обжатии плиты получено с помощью программного комплекса "МИРАЖ" для плиты, представленной моделью балки-стенки, при изгибе – моделью изгибаемой плиты.

Каждая из моделей состоит из 100 конечных элементов. Полученные решения с помощью табличного процессора Excel for Windows, преобразованы в безразмерные величины.

Для инженерного расчета в большинстве случаев достаточно располагать данными о величине усилий в центре плиты. По полученным табличным данным выведены эмпирические формулы для определения доли усилия и доли момента от единичного усилия и единичного момента, приложенных в углах плиты:

при $a/b = 1$:

$$K_p = P_x/P_{об} = 6 \cdot 10^{-8} \alpha^3 + 2 \cdot 10^{-7} \alpha^2 - 0,0016 \alpha + 0,0095, R^2 = 1;$$

$$K_m = M_x/M_{об} = -6 \cdot 10^{-8} \alpha^3 + 2 \cdot 10^{-5} \alpha^2 + 0,0001 \alpha - 0,0943, R^2 = 0,9999;$$

при $a/b = 1,5$:

$$K_p = P_x/P_{об} = 3 \cdot 10^{-8} \alpha^3 + 9 \cdot 10^{-6} \alpha^2 - 0,0007 \alpha + 0,0646, R^2 = 0,9999;$$

$$K_m = M_x/M_{об} = -3 \cdot 10^{-8} \alpha^3 + 2 \cdot 10^{-5} \alpha^2 + 0,0001 \alpha - 0,1, R^2 = 1; \quad (5)$$

при $a/b = 2$:

$$K_p = P_x/P_{об} = 1 \cdot 10^{-8} \alpha^3 + 1 \cdot 10^{-5} \alpha^2 - 0,0002 \alpha - 0,0943, R^2 = 1;$$

$$K_m = M_x/M_{об} = -2 \cdot 10^{-8} \alpha^3 + 1 \cdot 10^{-5} \alpha^2 + 9 \cdot 10^{-5} \alpha - 0,1005, R^2 = 1.$$

Для других соотношений a/b значения усилий в элементах сечений находятся по интерполяции.

Особенностью рассматриваемых железобетонных конструкций является невозможность использования прочностных характеристик напрягаемой арматуры, поскольку она размещена в недеформируемой зоне. Увеличение несущей способности железобетонной конструкции достигается путем создания сжимающих напряжений в растянутых зонах элемента от действия дополнительной нагрузки. Исчерпание несущей способности наступает в момент снятия этих напряжений при воздействии дополнительных усилий.

Нормальные напряжения обжатия бетона определяют по приведенным геометрическим характеристикам нормального сечения как для упругого тела. Усилия в напрягаемой арматуре рассматривают как внешнюю нагрузку.

Приведенное сечение включает сечение бетона и сечение всей продольной арматуры, замененной эквивалентной площадью бетона.

В центре сечения плиты напряжения меньше, чем на периферии. Эти напряжения зависят от угла наклона усилия обжатия и его момента и различны для плит с разным соотношением сторон. Коэффициенты снижения усилий в центре плиты определяются по формулам (5).

Фибровые напряжения складываются из напряжений от усилия обжатия P_1 , приложенного в центре тяжести приведенного сечения σ_p , напряжений от момента обжатия $P_1 \cdot e_{0p} - \sigma_M$ и напряжений от момента M_{def} :

$$\sigma_{bp1} = \sigma_p + \sigma_M - \frac{M_{def}}{I} y_0 \quad (6)$$

Учитывая, что $\sigma_p = \frac{P_1}{A_{red}} K_p$ и $\sigma_M = \frac{P_1 \cdot e_{0p}}{I_{red}} \cdot y_0 \cdot K_M$, имеем

$$P_1 = \frac{M_{def} \cdot y_0 \cdot A_{red}}{I_{red} \cdot K_p + e_{0p} \cdot A_{red} \cdot y_0 \cdot K_M} \quad (7)$$

Коэффициенты K_p и K_M и эксцентриситет e_{0p} подбираются из условия достижения максимальной величины момента обжатия в центре сечения и условия обеспечения прочности сжатой зоны бетона. По величине усилия обжатия P_1 и углу его наклона к оси X назначается необходимая площадь арматуры и уровень ее напряжения.

Разработана инженерная методика расчета усиления фундаментных плит предложенным способом.

Разработана методика расчета температурных усилий в круглых и кольцевых фундаментах, подвергающихся нагреву. В отличие от существующей методики замкнутое кольцо фундамента рассматривается как кривой железобетонный брус с нелинейным распределением относительных деформаций в радиальном сечении. Предложен способ приведения жесткости радиального сечения железобетонного диска к жесткости прямого бруса.

Температурные напряжения в замкнутом бруссе (кольце) при осесимметричном нагреве могут быть рассчитаны с достаточной для инженерных расчетов точностью из условия наложения собственных напряжений в статически определимом бруссе (кольцо с разрезом) на напряжения от чистого изгиба температурным моментом. При этом принимается гиперболическая зависимость распределения относительных деформаций в тангенциальном направлении.

В действительности характер изменения деформаций отличается от гиперболического. Это отличие особенно сказывается при переходе от кольца к диску.

На основе решения плоской задачи теории упругости исследован вопрос о характере смещения нейтральной оси в сторону центра кривизны. Интегрируя дифференциального уравнения для функции напряжений φ :

$$\frac{\partial^4 \varphi}{\partial r^4} + \frac{2}{r} \frac{\partial^3 \varphi}{\partial r^3} - \frac{1}{r^2} \frac{\partial^2 \varphi}{\partial r^2} + \frac{1}{r^3} \frac{\partial \varphi}{\partial r} = 0 \quad (8)$$

получим

$$\varphi = A \ln r + Br^2 \ln r + cr^2 + D \quad (9)$$

Откуда

$$\sigma_0 = \frac{4M}{N} \left(b^2 - a^2 - a^2 \ln \frac{r}{a} - b^2 \ln \frac{b}{r} - \frac{a^2 b^2}{r^2} \ln \frac{b}{a} \right); \quad (10)$$

Из этой зависимости определим положение нейтрального слоя r_0 , приравняв σ_0 нулю:

$$\frac{b^2}{a^2} - 1 - \ln \frac{r}{a} - \frac{b^2}{a^2} \ln \frac{b}{r} - \frac{b^2}{r^2} \ln \frac{b}{a} = 0 \quad (11)$$

Оно показывает на довольно близкое совпадение результатов, рассчитанных по гиперболической зависимости вплоть до соотношения радиусов $r_n / r_0 = 10$; при больших соотношениях снижение жесткости кривого бруса по сравнению с эквивалентным прямым (одинакового прямоугольного сечения) будет переоценено.

Для устранения этого несоответствия предлагается величину коэффициента снижения жесткости K определять в соответствии с зависимостью

$$K = r_0 e \frac{F}{J} = r_0 (r_y - r_0) \frac{F}{J} \quad (12)$$

по радиусу нейтрального слоя, полученному из решения теории упругости. Для удобства проведения расчетов можно использовать следующую эмпирическую формулу:

$$K = \frac{\frac{r_n}{r_0}}{1,385 \frac{r_n}{r_0} - 0,73}; \quad (13)$$

Наибольшее снижение жесткости наблюдается у дисков, для которых $K = 0,6$.

Относительная высота сжатой зоны определяется в зависимости от отношения r_n / r_0 по следующей эмпирической формуле:

$$\xi = \frac{\frac{r_n}{r_0}}{2,8 \frac{r_n}{r_0} - 1} \quad (14)$$

для дисков $\xi = 0,36$.

В целях использования гиперболической зависимости при расчете дисков предложен прием введения эквивалентного расчетного кольца, из условий:

$$r_n - r_0 = r_{\text{диска}} \quad \text{и} \quad r_n = 10r_0 \quad (15)$$

Проведено численное исследование напряженно-деформированного состояния в кольцевых плитах при чистом изгибе, осесимметричном неравномерном нагреве по радиусу и воздействию температурного момента. В качестве моделей рассматривались статически определимые железобетонные плиты в виде колец с разрезом (рис. 5). Выявлено, что распределение тангенциальных

перемещений свидетельствует о применимости гипотезы плоских сечений при оценке напряженного

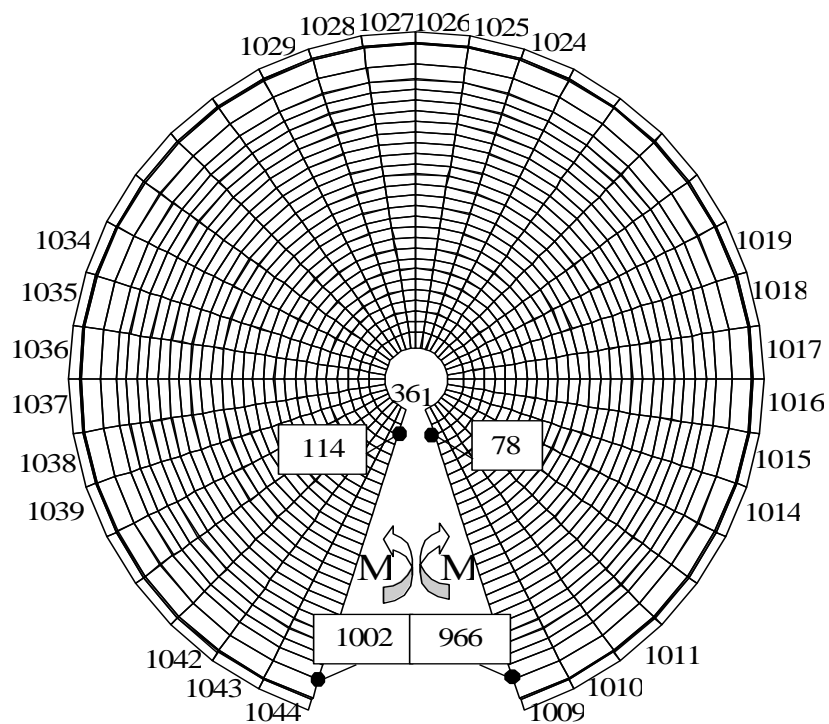
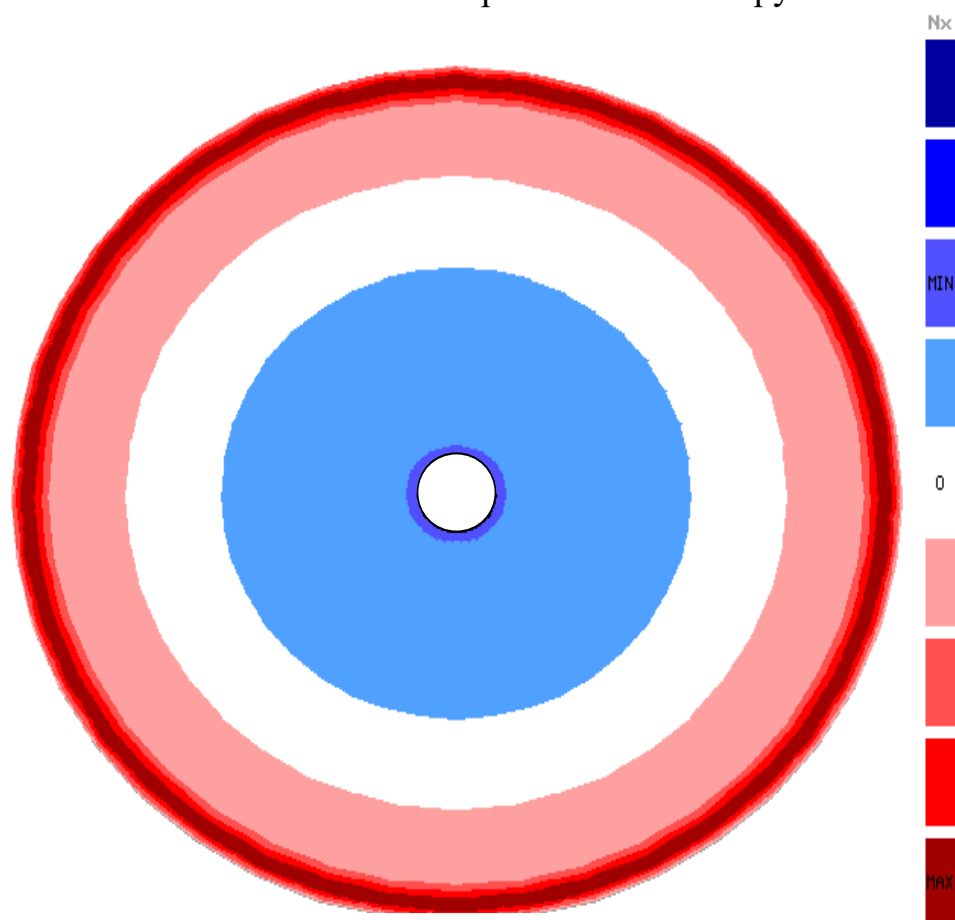


Рис. 5 Расчетная схема криволинейного бруса



$\sigma_{\theta\max}=368,6$ МПа, $\sigma_{\theta\min}=-74,5$ МПа, step 73,85 МПа

Рис. 6 Поле тангенциальных напряжений в замкнутом брус

состояния в кольцевых плитах с небольшим внутренним радиусом ($r_n / r_h = 10$). Распределение относительных деформаций по радиусу подчиняется гиперболическому закону, нейтральная ось в отличие от прямого бруса смещается к центру.

Проведено численное исследование формирования напряженного состояния в замкнутом криволинейном бруске при осесимметричном распределении температуры (рис. 6). Это напряженное состояние можно представить состоящим из суперпозиции поля напряжений от распределения температуры в статически определенном криволинейном бруске (кольце с разрезом) и поля напряжений в бруске от температурного момента. При линейном распределении температуры в тангенциальном направлении появились самоуравновешенные собственные температурные напряжения, приводящие к растяжению в средней зоне бруса и к сжатию в центральной и периферийной частях (рис. 7). Деформированная схема показывает, что торцевые сечения повернулись наружу. Следовательно, для их возврата в исходное положение необходимо приложить изгибающий момент к торцам, называемый температурным моментом. Определение величины этих моментов проводилось итерационным методом путем минимизации невязки между положением торцевого сечения в исходном состоянии и напряженном при варьировании величинами дополнительных изгибающих моментов, приложенных к торцам нагретого криволинейного бруса.

Поле напряжений при совместном воздействии температурного момента и собственных температурных напряжениях идентично полю напряжений в замкнутом криволинейном бруске при осесимметричном нагреве (рис. 8). Распределение напряжений в среднем сечении незамкнутого бруса при нагреве и воздействии температурного момента практически совпадает с распределением напряжений в замкнутом бруске при его нагреве.

Проведено моделирование напряженно-деформированного состояния в незамкнутых железобетонных кольцах при воздействии изгибающих моментов, приложенных в лабораторной установке с помощью специальных металлических траверс-консолей, которые показали, что за исключением торцевых участков меньших четверти бруса распределение напряжений является одномерным, отвечающим чистому изгибу.

Разработан метод расчета прочности и трещиностойкости радиальных сечений железобетонных элементов с учетом реальных законов деформирования и результатах исследования влияния высокотемпературного нагрева на характер полных диаграмм “ σ – ε ” бетона и арматуры.

Расчет проводится численным итерационным методом, дискретизируя сечение в виде полосок, с учетом следующих предпосылок: принимается гипотеза плоских сечений по перемещениям:

$$\Delta l = c_0 + d_0 \cdot r, \quad (16)$$

относительные деформации при этом распределяются по гиперболическому закону:

$$\varepsilon = \frac{\Delta l}{r} = (c_0 + d_0 \cdot r) \cdot \frac{1}{r}, \quad (17)$$

бетон в сжатой и растянутой зонах выключается из работы при достижении деформациями предельных значений ε_{buT} и ε_{btuT} ;

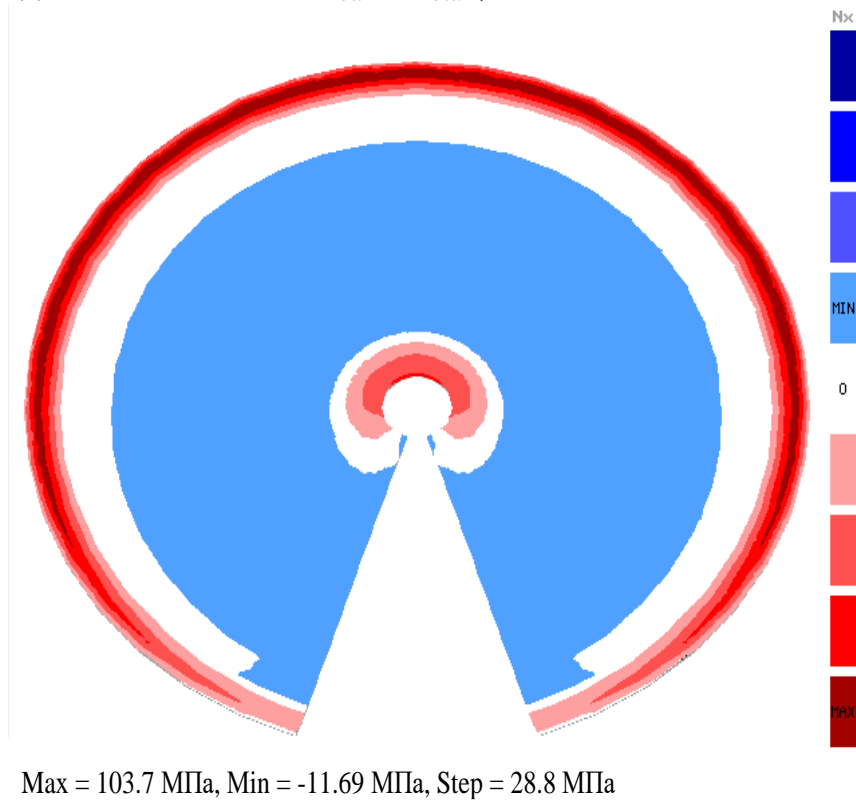


Рис. 7 Поле тангенциальных напряжений в незамкнутом брусе при нагреве

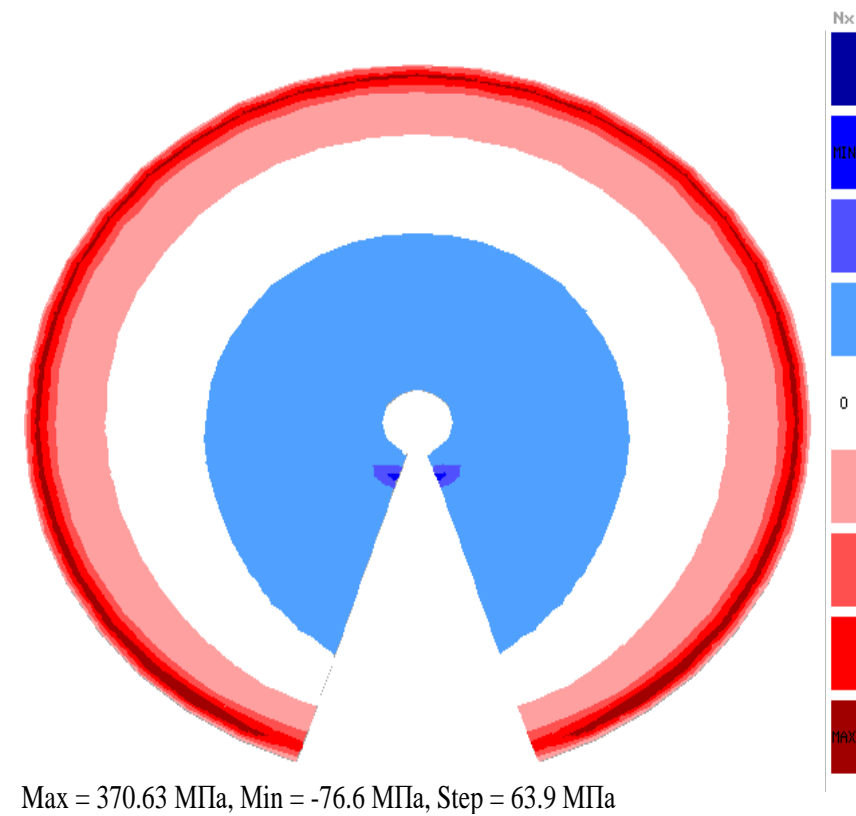


Рис. 8 Поле тангенциальных напряжений в сечении бруса при нагреве и воздействии изгибающего момента

Распределение относительных деформаций по высоте сечения определяется через деформации арматуры ε_s и координату нейтральной оси r_0 :

$$\varepsilon_j = -\frac{r_s \cdot \varepsilon_s}{r_s - r_0} \cdot \frac{r_0}{r} + \frac{r_s \cdot \varepsilon_s}{r_s - r_0} \quad (18)$$

Напряжения в i -той полоске бетона σ_{bi} и арматуре σ_{sj} с учетом нагрева определяется из диаграмм состояния бетона и арматуры по деформациям:

$$\varepsilon_{bi} = -\frac{r_s \cdot \varepsilon_s}{r_s - r_0} \cdot \frac{r_0}{r_{bi}} + \frac{r_s \cdot \varepsilon_s}{r_s - r_0} - \alpha_b \cdot (t_{bi} - t_0) \quad (19)$$

и

$$\varepsilon_{si} = -\frac{r_s \cdot \varepsilon_s}{r_s - r_0} \cdot \frac{r_0}{r_{si}} + \frac{r_s \cdot \varepsilon_s}{r_s - r_0} - \alpha_{st} \cdot (t_{si} - t_0) \quad (20)$$

соответственно.

Уравнения равновесия:

$$N = \sum_{i=1}^n \sigma_{bi} \cdot A_{bi} + \sum_{j=1}^m \sigma_{sj} \cdot A_{sj} \quad (21)$$

$$M = \sum_{i=1}^n \sigma_{bi} \cdot A_{bi} \cdot y_{bi} + \sum_{j=1}^m \sigma_{sj} \cdot A_{sj} \cdot y_{sj} \quad (22)$$

Итерационный процесс определения напряженно-деформированного состояния, прочности и трещиностойкости 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 либо собственных температурных напряжений при отсутствии изгибающего момента и продольного усилия ($M = 0, N = 0$). Подбор производится интерактивным способом при последовательной вариации значениями относительной деформации арматуры ε_s и координаты нейтральной оси r_0 .

По разработанному алгоритму составлена программа “DISK” в табличном процессоре Excel for Windows, состоящая из четырех блоков - “листов” и двух макросов. Итерационный процесс выполняется с помощью интерактивного блока, включающего программы задания относительных деформаций по высоте сечения путем назначения величины относительной деформации арматуры ε_s и координаты нейтральной оси r_0 с помощью двух полос прокрутки (scrolling), каждая из которых управляет своим параметром, окон для визуализации величин равнодействующей продольных усилий N и главного момента M , а также диаграммы распределения напряжений в сечении. Для управления линиями прокрутки разработаны два макроса (Макрос 1 и Макрос 2).

При отсутствии возможности использования в проектной практике предложенного уточненного метода расчета круглых железобетонных плит на

температурные воздействия разработан инженерный метод расчета, включающий основные положения проекта государственных строительных норм Украины ДБН В.2.6. “Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования”, гармонизированных с Еврокодом-2.

Модель расчета включает следующие основные научные положения: уравнения равновесия внешних и внутренних сил в радиальном сечении; гипотезу плоских сечений по перемещениям (относительные деформации при этом распределяются по гиперболическому закону); билинейную связь “напряжения – деформации” бетона и арматуры с учетом температуры нагрева; учет изменчивости коэффициента линейного расширения α_{bt} и коэффициента влияния кратковременной ползучести бетона φ_{bt} в зависимости от температуры и длительности воздействия.

В соответствии с проектом ДБН В.2.6. “Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования” диаграмма состояния (деформирования) бетона может быть принята как для идеального упруго-пластического материала.

На основе результатов экспериментальных исследований ХГТУСА получены диаграммы состояния тяжелого бетона при нагреве, описываемые следующими зависимостями:

$$\varepsilon_{bT} < 0 \text{ [сжатие]}$$

$$\text{При } 0 \geq \varepsilon_{bT} \geq \varepsilon_{b,RT} = R_{bT} / E_{bT}$$

$$\sigma_{bT} = \varepsilon_{bT} \cdot E_{bT} \quad (23)$$

$$\text{При } \varepsilon_{bRT} = R_{bT} / E_{bT} \geq \varepsilon_{bT} \geq \varepsilon_{buT}$$

$$\sigma_{bT} = R_{bT} \quad (24)$$

$$\varepsilon_{btT} > 0 \text{ [растяжение]}$$

$$\text{При } 0 \leq \varepsilon_{btT} \leq \varepsilon_{btRT} = R_{btT} / E_{bT}$$

$$\sigma_{btT} = \varepsilon_{btT} \cdot E_{bT} \quad (25)$$

$$\text{При } \varepsilon_{btRT} = R_{btT} / E_{bT} \leq \varepsilon_{btT} \leq \varepsilon_{btuT}$$

$$\sigma_{btT} = R_{btT} \quad (26)$$

где

$$R_{bT} = \gamma_{bT} \cdot R_b, \quad (27)$$

коэффициент условий работы при сжатии:

$$\gamma_{bT} = -0,000001 t^2 - 0,000426 t + 1,044105; \quad (28)$$

$$R_{btT} = \gamma_{btT} \cdot R_{bt}, \quad (29)$$

коэффициент условий работы бетона на растяжение:

$$\gamma_{btT} = 0,00000140 t^2 - 0,00232682 t + 0,993502351; \quad (30)$$

$$E_{bT} = \beta_{bT} \cdot E_b, \quad (31)$$

коэффициент, учитывающий снижение начального модуля упругости при нагреве:

$$\beta_{bT} = -0,000000003 \cdot t^3 + 0,000005082 \cdot t^2 - 0,003370158 \cdot t; \quad (32)$$

$$\varepsilon_{bRT} = R_{bT} / E_{bT}, \quad (33)$$

$$\varepsilon_{btRT} = R_{btT} / E_{bT}, \quad (34)$$

$\varepsilon_{b,uT}$ и $\varepsilon_{bt,uT}$ при $t = 20^0$ С определяются по табл. 1 проекта ДБН, при других температурах по формулам:

$$\varepsilon_{bRuT} = K_{bT} \cdot \varepsilon_{bR}, \quad (35)$$

$$K_{bT} = 0,92 + 0,001 \cdot t + 0,0000062 \cdot t^2. \quad (36)$$

Эмпирические формулы для определения коэффициентов γ_{bT} , γ_{bt} , β_{bT} получены по данным “Рекомендаций по расчету пределов огнестойкости бетонных и железобетонных конструкций”.

Расчет проводится итерационным методом. В первом приближении численным способом определяем положение плоского сечения с учетом собственных температурных напряжений на восходящей ветви диаграмм арматуры и бетона. Затем по результатам расчета собственных температурных напряжений производится корректировка диаграмм тех частей сечения, в которых напряжения превосходят соответствующие первым базовым точкам. Если деформации не превышают предельные, в этих зонах сечения принимается соответствующий предел прочности. При превышении предельной деформации напряжения принимаются равными 0. После корректировки расчет повторяется до соблюдения условий диаграмм состояния бетона и арматуры. Далее определяется кривизна, жесткость сечения и температурный момент, по которому проверяется железобетонное сечение или подбирается необходимая кольцевая арматура.

Изгибающий момент от неравномерного распределения температуры вдоль радиуса определяется по формуле:

$$M_t = \frac{I}{\rho_t} \cdot B_{кр} \quad (37)$$

Определение кривизны нейтральной оси бруса проводится из решения задачи о выявлении напряженно-деформированного состояния диска в предположении его статической определимости (кольце или диске с радиальным разрезом). Для этого сечение элемента расчленяется на отдельные полоски, распределение температуры заменяется ступенчатой формой, отыскиваются координаты центра тяжести приведенного сечения:

$$\bar{y}_c = \frac{S_{red}}{A_{red}} \quad (38)$$

Распределение относительных деформаций выражается зависимостью:

$$\bar{\varepsilon}_j = \frac{I}{r_j} (c_0 + d_0 y_j) \quad (39)$$

В первом приближении имеем:

$$\sigma_{bj} = E_b \beta_{bj} (\bar{\varepsilon}_j - \varepsilon_j) \frac{1}{\varphi_{b1}} \quad (40)$$

$$\sigma_{sj} = E_s \beta_{sj} (\bar{\varepsilon}_j - \varepsilon_j) \quad (41)$$

Постоянные c_0 и d_0 определим из уравнений равновесия по формулам:

$$c_0 = \frac{D_\sigma + D_a}{A_n} \quad (42)$$

$$d_0 = -\frac{(D_{\bar{\sigma}} + D_a)(A_{\bar{\sigma}} + A_a) - (\omega_{\bar{\sigma}} + \omega_a)A_n}{A_n[r_u(A_{\bar{\sigma}} + A_a) - A_n]}, \quad (43)$$

где

$$\sum_{j=1}^n \frac{A_{bj}^n}{r_j} = A_{\bar{\sigma}}; \quad \sum_{j=1}^n A_{bj}^n = \omega_{\bar{\sigma}};$$

$$\sum_{j=1}^n \frac{A_{sj}^n}{r_{sj}} = A_a; \quad \sum_{j=1}^n \varepsilon_{sj} A_{sj}^n = \omega_a;$$

$$\sum_{j=1}^n \varepsilon_{bj}^n r_{bj} A_{bj}^n = D_{\bar{\sigma}}; \quad \sum_{j=1}^n \varepsilon_{sj}^n r_{sj} A_{sj}^n = D_a$$

Определяем собственные температурные напряжения, соответствующие им деформации, проводим указанную корректировку для расчета во втором приближении.

В четвертом разделе изложены результаты экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния усиленных прямоугольных железобетонных плит и круглых плит при осесимметричном нагреве. Целью исследования являлась проверка разработанного метода усиления путем создания предварительного напряжения по контуру и управления полем напряжений и деформаций в зависимости от распределения усилий. Испытаны две серии плит - квадратные и прямоугольные в плане.

Плиты первой серии П-1 и П-2, размерами 600x600 мм, толщиной 80 мм армированы сварными сетками из стержней диаметром 4 мм стали класса Вр-I с шагом 50 мм. Плиты изготовлены из бетона класса В20 на портландцементе Белгородского завода марки 300. В качестве крупного заполнителя до 20 мм использован гранитный щебень, в качестве мелкого - речной песок Безлюдовского карьера. Плита П-1 не усиливалась, плита П-2 усиливалась путем размещения по каждой стороне контура одного арматурного стержня диаметром 20 мм из стали класса А-III. Стержни приваривались к упорным металлическим деталям, размещенным по углам плиты. Предварительное напряжение осуществлялось оттяжкой стержня от поверхности плиты в средней части специально изготовленным приспособлением с контролем усилия и фиксацией натяжения металлическими подкладками.

Испытания плит проведены по схеме их свободного опирания на четыре канта на специально сконструированной установке. Плиты нагружались равномерно распределенной нагрузкой, которая моделировалась с помощью системы траверс, через которые передавалось усилие от домкрата.

Загружение проводилось этапами с выдержкой на каждом этапе по 10 мин. при приращении усилия на центральном домкрате 500 кг. В процессе испытания замерялся прогиб плит в центре в зависимости от изгибающего момента. Плиты доводились до разрушения. Предел прочности для плиты П-1 наступил при изгибающем моменте $M_{1u} = 8,74$ кН·м, для П-2 - $M_{2u} = 17,86$ кН·м.

Плиты второй серии П-3 и П-4 представляли собой дорожные плиты типа ПД-9,5, изготовленные Куряжским ДСК. Плиты размерами 1730 × 1480 мм,

высотой 180 мм, изготовлены из бетона класса В15, армированы сварными сетками из стержней диаметром 10 мм стали класса А-III в нижней зоне и сетками из стержней диаметром 5 мм класса Вр-I в верхней зоне.

Испытания каждой из плит проводились трижды. При первом испытании по периметру плиты размещались по два арматурных стержня, приваренных к опорным элементам по углам плиты. Предварительное напряжение создавалось путем стягивания стержней друг к другу винтовой стяжной скобой.

При втором испытании верхний стержень обрезался и его напряжение производилось как в плитах первой серии. Третье испытание плиты проводилось без дополнительного армирования и предварительного напряжения.

Плиты испытывались по балочной схеме; в процессе испытания определялись зависимости прогибов плит в середине пролета от действующего изгибающего момента. Результаты испытания подтвердили целесообразность предложенного способа усиления, который во многих случаях является единственно возможным.

Проведены экспериментальные исследования напряженно-деформированного состояния круглых в плане железобетонных плит при осесимметричном нагреве. Основными задачами экспериментальных исследований ставились: изучение особенностей работы криволинейных брусьев при чистом изгибе, выявление температурных деформаций при нелинейном распределении температуры по высоте сечения в радиальном направлении, определение температурного момента в статически неопределимом железобетонном криволинейном бруссе (кольце, диске).

С этой целью опыты производились на железобетонных образцах в виде колец с разрезом, которые подвергали чистому изгибу, неравномерному вдоль радиуса нагреву, изгибу температурным моментом, который реализовывали с помощью сдерживания температурных деформаций противодействующим изгибающим моментом.

Образцы представляли собой незамкнутые железобетонные кольца, торцы которых окаймлялись закладными деталями в виде отрезков швеллеров N10, через которые передавалась нагрузка основному сечению.

Как показали численные исследования напряженно-деформированного состояния моделей таких брусьев, зона отклонения закона распределения напряжений от одномерного не превосходит четверти бруса, т. е., средняя часть кольца (по 90° в обе стороны от оси) может рассматриваться как кривой брус. Для восприятия дополнительных усилий при плоском напряженном состоянии торцевые части бруса были усилены дополнительным армированием, связанным с закладными деталями при помощи сварки и крюков. В закладных деталях вваривались металлические трубки и сверлились отверстия, через которые пропускались болты для соединения со специальными металлическими траверсами-консолями.

Результаты экспериментальных исследований подтвердили справедливость разработанной методики расчета определения прочности, жесткости и трещиностойкости круглых в плане железобетонных плит при осесимметричном нагреве.

В пятом разделе описано внедрение результатов исследований в проекты реконструкции фундаментов доменных печей на Енакиевском и Макеевском металлургических заводах. Разработаны конструктивные решения усиления нижней фундаментной плиты с уширением подошвы фундамента предлагаемым методом и усиления верхнего жаропрочного массива. По предложенным конструктивным решениям институтом Гипросталь разработаны рабочие чертежи реконструкции фундаментов.

Разработанный способ усиления и методики расчета позволяют использовать существующие фундаменты, провести их усиление в минимальные сроки с экономией энергетических и материальных ресурсов.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Предложен новый способ усиления железобетонных конструкций фундаментов тепловых агрегатов. Способ предполагает создание направленного поля напряжений в плите путем предварительного напряжения контура.

2. Разработаны конструктивные решения усиления круглых, кольцевых, прямоугольных и многоугольных в плане фундаментов.

3. Уточнена методика расчета фундаментных плит, разработана программа для ПЭВМ расчета фундаментных плит доменных печей, позволяющая определить внутренние усилия в плите и реактивное давление грунта при различных величинах и схемах приложения системы внешних нагрузок и изменении размеров плиты.

4. Методом конечных элементов проведено математическое моделирование напряженно-деформированного состояния в фундаментных плитах при их усилении обжатием контура, в результате которого выявлено неравномерное распределение напряжений в различных сечениях плиты.

5. Определены пути формирования напряженно-деформированного состояния, позволяющие управлять распределением внутренних усилий. Анализ напряженно-деформированного состояния показывает, что изменение наклона равнодействующей усилий, приложенных в углах плиты, и их эксцентриситетов относительно центра тяжести приведенного сечения позволяет влиять на напряженно-деформированное состояние.

6. Для направленного создания заданного напряженно-деформированного состояния в сечениях плит разработана методика расчета, в которой используются зависимости распределения продольных усилий N_x и N_y и изгибающих моментов M_x и M_y в зависимости от угла наклона равнодействующей усилий обжатия и плоскости изгибающего момента обжатия в табличной форме. Таблицы разработаны на основе результатов численного моделирования напряженно-деформированного состояния плит с различным соотношением сторон.

7. Для инженерного расчета получены эмпирические формулы для определения продольных усилий и изгибающих моментов в центре плиты в зависимости от угла наклона усилия обжатия для различных соотношений сторон плиты.

8. Разработана инженерная методика расчета усиления фундаментных плит предложенным способом.

9. Проведено математическое моделирование напряженно-деформированного состояния в круглых и кольцевых железобетонных плитах при чистом изгибе в тангенциальном направлении, при осесимметричном нагреве и задержанных температурных деформациях, в результате которых сформулированы научные положения для разработки инженерной методики.

10. Разработана методика расчета жесткости при изгибе криволинейных брусьев, температурных напряжений в замкнутых криволинейных брусьях, методика расчета прочности и трещиностойкости радиальных сечений с учетом зависимостей полных диаграмм " σ - ε " бетона и арматуры от температуры.

11. Разработана методика инженерного расчета плитных железобетонных фундаментов на температурные воздействия, включающая основные положения проекта государственных строительных норм Украины ДБН В.2.6. "Бетонные и железобетонные конструкции. Нормы проектирования", гармонизированных с Еврокодом-2.

12. Проведено экспериментальное обоснование предложенного метода усиления на квадратных и прямоугольных железобетонных плитах. Результаты анализа показывают удовлетворительное совпадение расчетных и опытных значений несущей способности усиленных железобетонных плит обжатием контура.

13. Проведено экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния круглых в плане железобетонных плит при чистом изгибе, осесимметричном по радиусу неравномерном нагреве и воздействии температурного момента.

14. Результаты исследований внедрены в проекты реконструкции фундаментов доменной печи № 5 Енакиевского и доменной печи № 3 Макеевского металлургических заводов.

ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ:

1. Фомин С.Л., Бутенко С.В. Усиление круглых и кольцевых железобетонных фундаментов // Коммунальное хозяйство городов. - Киев: Изд-во "Техніка", 1997.- №11.-С. 3-4.

2. Фомин С.Л., Бутенко С.В. К расчету температурных усилий в круглых и кольцевых железобетонных фундаментах // Коммунальное хозяйство городов. - Киев: Изд-во "Техніка", 1997.-№11.-С. 26-27.

3. Фомин С.Л., Бутенко С.В. Температурные напряжения в замкнутых криволинейных брусьях // Науковий вісник будівництва.-Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 1998.-№3.-С. 42-45.

4. Бутенко С.В. Экспериментальные исследования железобетонных плит, усиленных предварительным напряжением контура // Науковий вісник будівництва.-Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 1998.-№4.-С. 32-35.

5. Фомин С.Л., Бутенко С.В. Управление напряженным состоянием железобетонных плит, усиленных предварительным напряжением по контуру // Науковий вісник будівництва.-Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 1999.-№6.-С. 74-78.

6. Бутенко С.В. Методика розрахунку залізобетонних плит, підсилених попереднім напруженням по контуру // Науковий вісник будівництва.-Харків: ХДТУБА, ХОТВ АБУ, 1999.-№ 7.-С. 7-9.

7. "Спосіб підсилення залізобетонних фундаментів": Позитивне рішення НДЦПЕ про видачу патенту України на винахід / Шагін О.Л., Фомін С.Л., Бутенко С.В.-№ 99042203; 25.10.99.

АНОТАЦІЯ

Бутенко С. В. Підсилення фундаментів теплових агрегатів попереднім напруженням по контуру. Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.23.01 - будівельні конструкції, будівлі та споруди.-Харківська державна академія залізничного транспорту, Харків, 2000.

Захищається рукопис, що містить розробку способу підсилення залізобетонних конструкцій фундаментів теплових агрегатів шляхом створення направленою поля напружень у плиті за допомогою попереднього напруження контуру, конструктивних рішень підсилення фундаментів, шляхів формування напружено-деформованого стану, що дозволяють управляти розподілом внутрішніх зусиль, інженерної методики розрахунку підсилення фундаментних плит запропонованим засобом, методики розрахунку жорсткості при згині криволінійних брусів, температурних напружень у замкнутих криволінійних брусах, методики розрахунку міцності і тріщиностійкості радіальних перерізів з урахуванням залежностей повних діаграм " σ - ϵ " бетону і арматури від температури, інженерної методики на основі проекту ДБН В.2.6. "Бетонні і залізобетонні конструкції", гармонізованих з Єврокодом-2.

Проведено експериментальне обґрунтування запропонованого методу підсилення, експериментальне дослідження напружено-деформованого стану круглих у плані залізобетонних плит при чистому згині, осесиметричному по радіусу нерівномірному нагріві та впливі температурного моменту.

Результати досліджень впроваджені в проекти реконструкції фундаментів доменної печі № 5 Єнакієвського і доменної печі № 3 Макіївського металургійних заводів. Розроблений засіб підсилення і методики розрахунку дозволяють використовувати існуючі фундаменти, провести їхнє підсилення в мінімальні терміни з економією енергетичних і матеріальних ресурсів.

Ключові слова: засіб підсилення, фундаменти теплових агрегатів, попереднє напруження, температурні напруження, повні діаграми " σ - ϵ " бетону і арматури при нагріві, міцність, жорсткість і тріщиностійкість залізобетонних фундаментів при осесиметричному нерівномірному нагріві.

АННОТАЦИЯ

Бутенко С. В. Усиление фундаментов тепловых агрегатов предварительным напряжением по контуру.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.23.01 - строительные конструкции, здания и сооружения.- Харьковская государственная академия железнодорожного транспорта, Харьков, 2000.

Защищается рукопись, содержащая разработку способа усиления железобетонных конструкций фундаментов тепловых агрегатов путем создания направленного поля напряжений в плите с помощью предварительного напряжения контура, конструктивных решений усиления фундаментов, путей формирования напряженно-деформированного состояния, позволяющих управлять распределением внутренних усилий, инженерной методики расчета усиления фундаментных плит предложенным способом, методики расчета жесткости при изгибе криволинейных брусьев, температурных напряжений в замкнутых криволинейных брусьях, методики расчета прочности и трещиностойкости радиальных сечений с учетом зависимостей полных диаграмм " σ - ε " бетона и арматуры от температуры, инженерной методики на основе проекта ДБН В.2.6. "Бетонные и железобетонные конструкции", гармонизированных с Еврокодом-2.

Проведено экспериментальное обоснование предложенного метода усиления, экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния круглых в плане железобетонных плит при чистом изгибе, осесимметричном по радиусу неравномерном нагреве и воздействии температурного момента.

Результаты исследований внедрены в проекты реконструкции фундаментов доменной печи № 5 Енакиевского и доменной печи № 3 Макеевского металлургических заводов. Разработанный способ усиления и методики расчета позволяют использовать существующие фундаменты, провести их усиление в минимальные сроки с экономией энергетических и материальных ресурсов.

Ключевые слова: способ усиления, фундаменты тепловых агрегатов, предварительное напряжение, температурные напряжения, полные диаграммы " σ - ε " бетона и арматуры при нагреве, прочность, жесткость и трещиностойкость железобетонных фундаментов при осесимметричном неравномерном нагреве.

THE SUMMARY

Butenko S. V. An amplification of the bases of thermal aggregates by preliminary strength on an outline.

A thesis for scientific degree of the candidate of engineering science on a specialty 05.23.01 - building constructions, building and structure.-Kharkov state academy of a railway transport, Kharkov, 2000.

The manuscript is containing development of a method of an amplification of ferro-concrete constructions of the bases of thermal aggregates by creation of a directed field of strength in a plate with the help of preliminary strength of an outline, design solutions of an amplification of the bases, paths of shaping of the strength-deformed condition permitting is protected to control distribution of internal gains, engineering technique of account of an amplification of plates of bases by an offered method, technique of account of a rigidity under bending of curvilinear bars, temperature strength in the closed curvilinear bars, technique of account of strength and crack-resistance of radial cuts with allowance for of associations of the full diagrams " σ - ε " of concrete and bars from temperature, engineering technique because of project ДБН В.2.6. "Concrete and ferro-concrete constructions", harmonized with Eurocode-2.

The experimental substantiation of an offered method of an amplification, experimental research of the strength-deformed condition round in the plan of ferro-concrete plates for want of pure curving, axisymmetrical on a radius irregular heat and effect of a temperature moment is conducted.

The outcomes of researches are introduced into the projects of reconstruction of the bases of the blast furnace № 5 in Enakievo and blast furnace № 3 in Makeevka of metal plants. The developed method of an amplification and the techniques of account allow to use the existing bases, to conduct their amplification in minimum terms with economies of power and material resources.

Key words: a method of an amplification, bases of thermal aggregates, preliminary strength, temperature strength, full diagrams " σ - ε " of concrete and fixture for want of heat, strength, rigidity and crack-resistance of the ferro-concrete bases for want of axisymmetrical irregular heat.

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

**УСИЛЕНИЕ ФУНДАМЕНТОВ ТЕПЛОВЫХ АГРЕГАТОВ
ПРЕДВАРИТЕЛЬНЫМ НАПРЯЖЕНИЕМ ПО КОНТУРУ**

БУТЕНКО СЕРГЕЙ ВЛАДИМИРОВИЧ

Подписано к печати 26.05.2000

Формат бумаги 60x84 1/16 Бумага типографская №1

Печать на ризографе. Усл.-печ. л. 1,0. Уч.-изд. л. 1,2.

Зак. № 333. Тираж 100 экз.

Издательский центр Харьковского государственного технического университета
строительства и архитектуры
(Украина, 61002, г. Харьков, ул. Сумская, 40)