

*На правах рукописи*

**ХАЛМУРАДОВ Рустам Ибрагимович**

**СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕОРИИ И МЕТОДОВ РАСЧЕТА  
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ С НАРУШЕНИЯМИ  
РЕГУЛЯРНОСТИ**

*05.23.17 — Строительная механика.*

*05.23.01 — Строительные конструкции, здания и сооружения.*

**А в т о р е ф е р а т**  
диссертации на соискание ученой степени  
доктора технических наук

**Москва — 1995**

Работа выполнена в Самаркандском государственном архитектурно-строительном институте.

**Официальные оппоненты:**

доктор технических наук, профессор **С. Б. Косицын**,  
доктор технических наук, профессор **П. М. Саламахи**,  
доктор технических наук, профессор **В. А. Смирнов**.

Ведущая организация: Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.

Защита состоится « *19* » *декабря* 1995 г. в 15 часов 30 мин. на заседании диссертационного совета Д 053.22.08 в Российском университете дружбы народов по адресу: 117198, г. Москва, ул. Орджоникидзе, 3, ауд. 348

С диссертацией можно ознакомиться в научной библиотеке Российского университета дружбы народов (117198, Москва, ул. Миклухо-Маклая, д. 6).

Автореферат разослан « *19* » *ноября* 1995 г.

Ученый секретарь  
диссертационного совета  
кандидат технических наук,  
доцент

КРИВОШАПКО С. Н.

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность.** Плитные системы, образующие сложные пространственные структуры из плоских железобетонных элементов, практически всегда имеют нарушения регулярности в виде ребер, сосредоточенных опор, сосредоточенных силовых воздействий от различных подвесок прикреплений, изломов, разрезов, вырезов, прямоугольных проемов, технологических отверстий. К нарушениям регулярности следует отнести и наличие арматурных стержней, особенно при локальном армировании, так как они могут вызвать весьма заметные нарушения поля внутренних напряжений.

Создание и развитие новых технологий, развитие всех областей промышленности связано с повышением нагрузок, как статических, так и динамических, с новыми усиленными режимами работы. Это в свою очередь связано с внедрением новых высокопрочных материалов, в частности, синтетических материалов с повышенными механическими характеристиками, что требует создания новых усовершенствованных, основанных на уточненных физико-механических характеристиках, методов экспериментально-теоретического исследования, дающих наиболее точную информацию о напряженно-деформированном состоянии конструкции, особенно в локальных зонах нарушения регулярности.

Распространенная в настоящее время в расчетно-проектной практике методика расчета таких систем, основана, как правило, на численных или вариационно-разностных методах и позволяет получить лишь приближенную сглаженную картину распределения перемещений, усилий и моментов. При этом практически не учитывается действительная концентрация напряжений, а также ряд таких факторов, существенно влияющих на работу конструкции, как совместная деформация пересекających ребер, жесткость ребер, окаймляющих прямоугольные отверстия и её влияние на распределение напряжений вблизи углов отверстия.

Неточное представление истинной картины распределения напряжений приводит часто к нерациональному, неоправданному расчету, распределению материала, завышению размеров отдельных элементов, не всегда благоприятно сказыва-

щемся на несущей способности, повышению материалоемкости, удорожанию строительства без обеспечения при этом достаточной надежности и длительных сроков безаварийной эксплуатации.

Линии и точки, где нарушается регулярность физико-геометрических параметров, являются зонами повышенной концентрации напряжений и, следовательно, источниками развития трещин, приводящих к разрушению. В связи с этим указанные области подкрепляются, усмьщваются различными способами: ребрами, дополнительным армированием, увеличением толщины плиты.

Подкрепляемые элементы, как и сами ослабления, оказывают заметное влияние на величину напряжений, создавая сложную картину напряженно-деформированного состояния, как местного, так и общего. Изменяя жесткости отдельных подкрепляющих элементов и их расположение можно регулировать напряжения, добиваясь их равномерного, благоприятного для обеспечения несущей способности, распределения.

Такое регулирование напряженно-деформированным состоянием путем изменения, варьирования физико-механических параметров, как самой конструкции, так и подкрепляющих элементов открывает определенные возможности перед проектировщиками, реализуется при наличии эффективного, доведенного до практического применения аналитического метода решения и, следовательно, простоты и удобства для применения алгоритмов и программ.

Эффективные, быстро реализуемые методы расчета нерегулярных систем удастся создать на основе использования специальных размерных функций, вводимых как в исходные дифференциальные зависимости и в уравнения, так и в само решение, так как при этом за счет выделения особенностей удастся получить решение в рядах, одинаково быстро сходящихся вблизи сингулярных точек и в зонах континуума.

Соответствующие алгоритмы и программы позволяют оценить одновременное влияние ослаблений и подкреплений (ребер, арматуры) на общую картину усилий и моментов при различных видах внешней нагрузки и контурного закрепления.

В связи с этим тема данной диссертации, посвященной

разработке эффективных методов проектирования и оптимального армирования плитных систем с нарушениями регулярности, на основе применения обобщенных разрывных функций, экспериментальной проверке их и разработке рекомендаций по рациональному размещению арматурных стержней в зонах концентрации напряжений представляется весьма актуальной.

Цель работы - разработка экспериментально подтвержденной с удобно реализуемым алгоритмом теории расчета железобетонных плит, учитывающей локальные изменения жесткостей в местах нарушения регулярностей сечений и предложение практических рекомендаций по оптимизации армирования зон концентрации напряжений с целью повышения надежности конструкций.

Научное значение исследования заключается в том, что разработана и доведена до практического применения методика расчета железобетонных плит основанная на применении обобщенных разрывных функций, что позволяет с достаточной практической точностью учесть возможную нерегулярность сечения вызванную ребрами, отверстиями и пр. Достоверность реализованного алгоритма подтверждена многочисленными экспериментами проведенными на железобетонных моделях гладких, ребристых плит, плит с отверстиями.

Научная новизна состоит в следующем:

- в обосновании теоретической модели для железобетонных плитных систем, позволяющей составить дифференциальные разрешающие уравнения, которые учитывают различные виды нерегулярностей в виде ребер, разрезов отверстий, арматурных стержней;
- в разработке и конкретизации методики расчета нерегулярных локально-армируемых плитных систем, применительно к конкретным конструкциям, позволяющей учитывать неравномерность распределения напряжений и различные краевые условия;
- в разработке новой обобщенной концепции при оценке несущей способности плитных систем, основанной на учете влияния арматуры на напряженное состояние и, следовательно, на обоснованной автором возможности регулирования напряжений с помощью арматуры при двусосном напряженном состоянии;

- развитии теории и методов расчета оболочек и плит с разрывными параметрами на широкий класс плоских железобетонных систем;

- в получении новых экспериментальных результатов при исследовании на моделях различно армированных плит с ребрами и отверстиями;

- в обосновании возможности обобщения полученных результатов на более широкий класс пластинчато-стержневых систем при различных нагрузках.

Практическая ценность работы заключается:

- в разработке практического метода расчета, основанного на аналитическом решении, задач о напряженно-деформированном состоянии плитных систем с нарушениями регулярности, и использовании в решении разрывных функций;

- в разработке программы расчета ребристых железобетонных плит с прямоугольными отверстиями и реализации их на примерах расчета плит с различным армированием;

- в получении новых экспериментальных результатов, которые могут быть использованы на практике при массовом изготовлении железобетонных плит с ребрами, отверстиями;

- в разработке практических рекомендаций по оптимальному армированию некоторых тонкостенных систем из железобетона с целью избежания опасной концентрации напряжений.

Реализация результатов исследования: Исследования проводились в соответствии с заданием Минвуза РУз и ГКНТ РУз, включены в государственную научно-техническую программу РУз "Природные техногенные катастрофы" (шифр. 7.7.II), название темы: "Разработать способы снижения локальных напряжений в железобетонных конструкциях" (1989-93гг).

Выпущены рекомендации по расчету железобетонных плит с нарушениями регулярности ("Самарканд НИИгражданпроект"), методические рекомендации в помощь заводским лабораториям, два методических указания для студентов инженерно-строительной специальности по выполнению практических работ и для выполнения курсового и дипломного проектирования. Предложенный метод расчета принят "ТашЭНИЭП" для включения в готовящиеся Республиканские нормативные документы.

Методика проектирования и рекомендации по армированию

плит с нарушениями регулярности внедрены в Госкомитете РУз по архитектуре и строительству, при проектировании железобетонных плит в основании корпуса иммунной биологической имени Мечникова (в г.Уфа), в Самаркандском: НИИ "Гражданпроект", филиале "Узгипросельстрой", ДСК; на Камашинском комбинате строительных материалов, Чиракчинском управлении железобетонных изделий.

Достоверность предлагаемой методики расчета и разработанных рекомендаций подтверждена достаточно большим числом опытных данных, где статистическая обработка результатов выполнена с привлечением методов математического планирования экспериментов, близкой сходимостью опытных и теоретических результатов.

Апробация работы. Результаты диссертационной работы докладывались или опубликованы в материалах и тезисах докладов: конференции "Строительству высокий научный и технико-экономический уровень" (г.Самарканд, 1990г.), Республиканской научно-практической конференции "Актуальные проблемы использования исторического наследия в современной архитектурной практике" (г.Самарканд, 1990г.), Международной научно-технической конференции по проблеме галнотехнологии и долговечности бетона в условиях сухого, жаркого климата (г.Бухара, 1992г.), 2-й Международной научно-технической конференции "Новые материалы для ремонтно-восстановительных работ и реставрации памятников архитектуры" (г.Самарканд, 1992г.), Международной конференции "Легкие конструкции в строительстве" (г.Варшава, 1995г.), профессорско-преподавательских конференций СамГАСИ (1988-93гг.), а также на семинарах: лаборатории пространственных конструкций Московского НИИ типового и экспериментального проектирования (г.Москва, 1993г.), кафедры железобетонных и каменных конструкций Ростовской академии строительства (г.Ростов, 1994г.), кафедры железобетонных и каменных конструкций С-Петербургского строительного университета (г.С-Петербург, 1994г.), Узбекского научно-исследовательского и проектного института типового и экспериментального проектирования жилых и общественных зданий им.Х.Асымова Госкомархитектурного РУз. (г.Ташкент, 1994г.), кафедры промышленного и гражданского строительства Бухарского технологического института (г.Бухара, 1994г.),

расширенном заседании технического Совета Самаркандского НИИ "Гражданпроект" (г.Самарканд, 1993г.).

Публикации. Основные положения проведенного исследования опубликованы в 43 публикациях, в том числе в двух монографиях (одна из них в соавторстве с Б.К.Михайловым). Опубликованы также: I- рекомендация к проектированию, 4 - методических указаний (в т.ч. 2 - в соавторстве).

Объем и структура работы. Диссертация состоит из вводной главы, шести глав основного содержания, заключения, 220 наименований библиографии, приложения программы ЭВМ, документов о внедрении результатов работы. Содержательная часть включает 230 страниц, 61 рисунок.

### Содержание работы

Во введении обосновывается актуальность темы диссертации, определяются цель, задачи и объект исследования, дается теоретическая предпосылка к применению обобщенных функций в разработке метода расчета железобетонных плит с различными нарушениями регулярности.

Раскрываются научная новизна и практическое значение выполненных экспериментально-теоретических исследований.

В первой главе описываются основные типы железобетонных плит с нарушениями непрерывности сечения. Особое внимание при этом уделено наиболее перспективным плитам междуэтажного перекрытия и плитам покрытия, вводимых в практику строительства в связи с предстоящим увеличением объема монолитного железобетона.

Дается обзор работ, посвященных различным вариантам конструкций и методам расчета отдельных плит из железобетона с ребрами, разрезами, отверстиями, вырезами, так и плитных систем, составленных из них.

Нарушения регулярности оказывают сложное взаимное влияние на поле напряжений в пределах каждого элемента и оно зависит от вида внешней нагрузки и контурных условий.

Несмотря на то, что задача о влиянии местного армирования на распределение напряжений в плите поставлена давно, с самого начала развития теории расчета железобетонных конструкций, она к настоящему времени исследована далеко не достаточно. Причиной тому несовершенство методов расчета. Численные и численно-аналитические методы либо дают сглаженную картину распределения напряжений, ли-

бо к непомерному увеличению вычислений и времени счета и, следовательно, к возрастанию вероятности сбоя.

Отмечается, что теории и методы расчета ребристых плит заложены в работах С.В.Александрова, В.Н.Байкова, В.З.Власова, А.И.Дурье, Н.Н.Складнева, Ю.А.Шманского и нашли свое развитие в трудах Н.П.Абовского, Д.В.Вайнберга, Ван-дер-Нейма, Э.И.Григолюка, Е.С.Гребня, К.И.Давыдова, П.А.Жилина, В.А.Заруцкого, Н.И.Карпенко, М.И.Левы, Б.К.Михайлова, А.М.Масленникова, В.В.Новосжилова, Е.В.Соколова, И.А.Трифонова, Фитера, В.И.Феодосьева, Хаткинсона, Хога, Шнелля и др. Если разрешающие уравнения ребристых плит получены и откорректированы в различных приближенных и уточненных вариантах, то трудности, связанные с поиском аналитических решений преодолены далеко не полностью. Здесь имеют место два пути развития: метод континуализации "размазывания" ребер и метод дискретного их учета. Последний также разделяется на два направления: метод, основанный на разделении пластины на отдельные пластины и ребра и метод дискретного учета ребер с помощью обобщенных функций.

Отмечается, что существенный вклад внесен в методы расчета ребристых армированных железобетонных плит экспериментальными исследованиями. Однако, в большинстве исследований обращалось основное внимание на интегральные характеристики - прогиб, перемещения, углы поворота - малочувствительные к местным особенностям. Почти не исследовалось влияние арматуры на поле напряжений вблизи нарушений регулярности.

Исследованию напряженно-деформированного состояния плит с отверстиями посвящен довольно многочисленный ряд работ. Это работы Д.В.Вайнберга, А.Н.Гузя, Г.Д.Гавриланко, Р.Ф.Габбасова, А.Н.Дурье, Б.М.Морозова, И.Е.Милейковского, В.З.Партона, И.Н.Преображенского, Г.Н.Савина, Н.С.Чернышенко, В.Н.Чехова и др. Среди них почти все известные в теории упругости численные, численно-аналитические, вариационные методы. Особую трудность вызывает исследование напряжений вблизи углов отверстия, при достаточно больших его размерах. Как правило, рассматривается плоское напряженное состояние. Задача существенно усложняется при учете изгиба.

Один из удачных подходов, получивших распространение, состоит в представлении толщины и, следовательно, жесткости единичной функцией (функцией Хевисайда). Зона, где жесткость полагается равной нулю, имитирует отверстие. При решении получен-

ных уравнений использовалась, однако аппроксимация искомым величин по функциям регулярными, что приводило к их сглаживанию и не позволяло определять концентрацию напряжений вблизи особенностей.

Весьма перспективный метод учета отверстий предложен в работах Б.К.Михайлова. Метод основан на предложенном им же методе учета разрезов с помощью разрывных функций, вводимых в геометрические соотношения изгибаемых плит.

По методам расчета плит с подкрепленными разрезами и отверстиями также имеется большое число публикаций. Использовались численные и численно-аналитические методы. При этом очень большое применение получил метод конечных элементов (МКЭ), обладающий универсальностью, однако, не позволяющий исследовать концентрацию напряжений в малой области резкого нарушения регулярности геометрических или физических параметров.

В целом отмечается, что результаты исследований на основе численных методов позволили получить лишь сглаженную, приближенную картину напряженного состояния и не позволяют исследовать влияние арматуры на местное напряженное состояние.

Показано, что несмотря на большой объем публикаций до сих пор недостаточно развит эффективный аналитический метод расчета, позволяющий оценивать качественно и количественно, все особенности напряженно-деформированного состояния вблизи точек нарушения регулярности физико-геометрических параметров.

Практически не использовалась концепция о регулировании, выравнивании напряжений вблизи точек их концентрации с помощью различного варианта армирования, что связано с оптимальным проектированием рассматриваемых систем и повышением их надежности и долговечности.

Приведенный обзор позволил уточнить цели и задачи исследования.

Во второй главе изложены теоретические основы метода разрывных функций, используемого автором в дальнейших исследованиях. Отмечается прежде всего, что для систем с разрывными параметрами аппроксимация искомым величинами функциями регулярными, гладкими, например, балочными или тригонометрическими функциями не приносит ожидаемого результата, так как соответствующие ряды или очень плохо сходятся в особых точках, или являются

расходящимися. Для усиления сходимости могут быть использованы специальные методы, например, метод А.Н.Крылова, основанный на выделении той части функционального ряда, которая и вызвала плохую сходимость. При этом основная трудность состоит именно в выделении "угадывании" этой разрывной части ряда. В связи с этим в данной главе изложен метод определения разрывной функции позволяющей резко усилить сходимость рядов применительно к задачам изгиба пластины с особенностями.

Построение алгоритма определения разрывной функции основано на понятии единичной функции и дельта-функции.

Первая разрывная функция, используемая в дальнейшем, находится как функция прогиба плиты под действием нагрузки, распределенной на линии  $x = x_i$ .  $W = \sum W_k \cdot \delta(x - x_i) \cdot y$ .

где  $W_k = \psi_{kxx} = C_1 C_2 \beta_k x + C_2 \delta \beta_k x + C_3 \beta_k x C_2 \beta_k x +$   
 $+ C_4 \beta_k x \delta \beta_k x + \frac{1}{2 \beta_k^3} [\beta_k (x - x_i) C_2 \beta_k (x - x_i) -$   
 $- \delta \beta_k (x - x_i)] \cdot H(x - x_i); \quad \beta_k = \frac{F_k}{b}; \quad (1)$

$b$  - ширина плиты.

Здесь  $C_i, (i = 1, 2, 3, 4)$  - постоянные интегрирования, определяемые из граничных условий на краях пластины, в том числе из условий совместной деформации в плитной системе.

График этой функции представляет собой плавную линию, но графики производных имеют изломы и разрывы, соответствующие разрывному характеру распределения момента и перерезывающей силы.

Далее в главе указан алгоритм построения разрывных функций различного типа воздействий на изгибаемую пластинку, отображаемых единичной функцией и производными от дельта-функции.

Рассмотрен также вопрос о построении разрывной функции для случая деформации плиты в своей плоскости без изгиба, т.е. при воздействии сосредоточенной на линии касательной нагрузки. Для касательной нагрузки, сосредоточенной на линии  $x = x_i$  разрывная функция, через которую затем определяется функция напряжений имеет вид:

$$F = \sum (F_k^0 + F_k^*) \delta(x - x_i) \cdot y, \quad (2)$$

где  $F_{\kappa}^{\circ}$  - решение однородного уравнения,  
 $F_{\kappa}^*$  - частное решение

$$F_{\kappa}^{\circ} = \frac{\beta_{\kappa}}{E \cdot \beta_{\kappa}^2} [(1-\mu)\beta_{\kappa}(x-x_i)C_2 + \beta_{\kappa}(x-x_i) - (1+\mu)\beta_{\kappa}^2(x-x_i)] \cdot H(x-x_i) \quad (3)$$

Путем поворота системы координат на  $90^{\circ}$  строятся разрывные функции, соответствующие направленному по нормали и по касательной к плоскости пластинки по линии, параллельной оси  $OY$ .

Отмечается, что использование разрывных функций значительно расширяет возможности аналитического метода. Представление искомого решения в виде линейной комбинации функций регулярных и разрывных дает возможность заранее уже на стадии выбора самого решения выделить особенность, вызывающую плохую сходимость ряда, и обеспечить его равномерную сходимость как в области разрыва, так и в регулярной области. Это в свою очередь позволяет упростить структуру решения, алгоритм и программу расчета. Таким образом, метод решения позволяет учитывать практически любые виды нагрузок, что существенно увеличивает класс решаемых задач.

В третьей главе на основе общих положений теории пластин с разрывными параметрами получены разрешающие уравнения для ребристых армированных плит, дан метод их решения и проводится алгоритм расчета. Известные соотношения к уравнения ребристых пластин конкретизируются для ребристой плиты с армированными стержнями, в частности, со стержнями ограниченной длины, меньшей, чем длина или ширина самой плиты. Учитывается локальное воздействие армированного стержня на напряженное состояние.

Ребра рассматриваются как одномерные элементы, присоединенные к плите по линиям. Армирующие стержни трактуются как ребра, имеющие нулевую жесткость на изгиб относительно собственной оси и конечную жесткость на растяжение-сжатие.

Их учет производится при помощи соотношений для обобщенных усилий и моментов:

$$\begin{aligned} T_1^* &= T_1 + T_{10} + T_{12}; & T_2^* &= T_2 + T_{22} + T_{23}; \\ M_1^* &= M_1 + M_{10} + M_{12}; & M_2^* &= M_2 + M_{20} + M_{23} \end{aligned} \quad (4)$$

где,  $T_1, M_1, T_2, M_2$  - усилия и моменты в гладкой части плиты параллельно осям  $OX$  и  $OY$ ,

$$\begin{aligned} T_{10}, M_{10}, T_{20}, M_{20} & \text{ - то же от ребра} \\ T_{12}, M_{12}, T_{22}, M_{22} & \text{ - то же от арматуры.} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 T_{1p} &= \sum_k (E_k F_k \epsilon_1 + E_k S_k \alpha_1) \delta(y - y_k); \\
 M_{1p} &= \sum_k (E_k J_k \alpha_1 + E_k F_k \epsilon_1) \delta(y - y_k); \\
 T_{2p} &= \sum_l (E_l F_l \epsilon_2 + E_l S_l \alpha_2) \delta(x - x_l); \\
 M_{2p} &= \sum_l (E_l J_l \alpha_2 + E_l S_l \epsilon_2) \delta(x - x_l),
 \end{aligned} \tag{5}$$

где  $E_k, E_l$  - модули упругости ребер,

$F_k, F_l, S_k, S_l, J_k, J_l$  - соответственно площади, статические моменты, моменты инерции поперечных сечений ребер относительно срединной плоскости пластинки.

Формулы для  $T_{13}, T_{23}, M_{13}, M_{23}$  получаются из формул (5) если в них заменить модули упругости и геометрические характеристики сечений ребер на таковые же, характеризующие арматурные стержни. При этом следует учитывать, что статический момент и момент инерции сечения арматурного стержня определяются по формулам:

$$S_l = F_l \cdot h_l; \quad J_l = F_l \cdot h_l^2, \tag{6}$$

где  $h_l$  - расстояние от центра тяжести сечения арматурного стержня до нейтральной плоскости плиты.

Подстановка выражений (4) в уравнения равновесия, с учетом соотношения упругости, приводит к разрезающей системе дифференциальных уравнений, которую, в перенесенных кратко можно представить так:

$$\nabla^4 u_c = \sum_f \rho_f (P_f) + \sum_f \rho_{cf} (U_f), \quad c = 1, 2, 3 \tag{7}$$

где  $U_1 = u, U_2 = v, U_3 = w$  - компоненты перемещений.

$P_1 = x, P_2 = y, P_3 = z$  - компоненты внешней нагрузки,  $\rho_{cf}$  - дифференциальные операторы, содержащие в качестве коэффициентов дельта-функций, её первую и вторую производную.

Отдельно рассмотрен случай, когда арматурные стержни имеют ограниченную длину. В этом случае условия и моменты в арматуре представляются в виде:

$$\begin{aligned}
 T_{13} &= \sum_j (E_j F_j \epsilon_1 + E_j S_j \alpha_1) \delta(y - y_j) H_{xxj}; \\
 T_{23} &= \sum_l (E_l F_l \epsilon_2 + E_l S_l \alpha_2) \delta(x - x_l) H_{yy_l}; \\
 M_{13} &= \sum_j (E_j J_j \alpha_1 + E_j F_j \epsilon_1) \delta(y - y_j) H_{xxj}; \\
 M_{23} &= \sum_l (E_l J_l \alpha_2 + E_l S_l \epsilon_2) \delta(x - x_l) H_{yy_l};
 \end{aligned} \tag{8}$$

где  $H_{xxj} = H(x - x_{j1}) - H(x - x_{j2})$ ;

$H_{yy_l} = H(y - y_{l1}) - H(y - y_{l2})$  - функции, составленные из функций Хевисайда.

Подстановка этих выражений в (4) и затем в уравнения равновесия с помощью соотношений упругости также приводит к системе дифференциальных уравнений типа (7), содержащей в качестве коэффициентов дельта-функции и их производные. При этом обнаруживаются сингулярности как на линиях расположения арматурных стержней, так и на их концах, свидетельствующие о наличии возмущений поля напряженки в соответствующих точках.

Для решения функции перемещения представляются в виде трех слагаемых

$$U_e = U_{(e)0} + U_{(e)1} + U_{(e)2}, \quad e = 1, 2, 3 \quad (9)$$

при этом функции  $U_{(e)0}$  - учитывают действие внешней нагрузки;  
 $U_{(e)1}$  - учитывают ребра и арматурные стержни в направлении оси  $OX$ ;  
 $U_{(e)2}$  - учитывают ребра и арматурные стержни в направлении оси  $OY$ .

функции  $U_{(e)1}, U_{(e)2}$  представлены в виде комбинаций функций регулярных и разрывных, алгоритм получения которых представлен в главе II. В качестве регулярных функций, входящих в  $U_{(e)1}, U_{(e)2}$  могут выбираться тригонометрические, балочные или другие функции, соответствующие граничным условиям на краях пластинки.

На практике представляет некоторую сложность расчет железобетонных плит с ребрами размещенными произвольно к её сторонам. Для этого типа задач разработан алгоритм расчета и отработана программа для ЭВМ.

Таким образом, метод решения позволяет учитывать любое направление ребер и арматур, как с ортогональным размещением их, так и под углом к сторонам контура, что особенно важно при решении практических задач.

Четвертая глава посвящена методу исследования локальных напряжений в плитах с прямоугольными отверстиями края которых, особенно угловые зоны, укреплены ребрами или арматурными стержнями. При этом ребра, арматурные стержни, нарушения сплошности в виде разрезов и отверстий учитываются на основе дискретно-континуальной модели двумерной среды, согласно которой и арматурный стержень и разрез учитываются относительно как наличие или отсутствие внутренних связей.

Отверстие имитируется четырьмя разрезами по замкнутому прямоугольному контуру. Для учета разрезов компоненты вектора перемещений представляются в виде

$$\begin{aligned}
 U^* &= U + \sum_{i=1}^2 \Delta U_i H_{x_i} H_{y_i} + \sum_{j=1}^2 \Delta U_j H_{y_j} H_{x_j}; \\
 \delta_i^* &= \delta_i + \sum_{i=1}^2 (\Delta \delta_{i1} H_{x_i} H_{y_i} + \Delta W_i \delta_{x_i} H_{y_i}) + \\
 &+ \sum_{j=1}^2 \Delta \delta_{ij} H_{y_j} H_{x_j}
 \end{aligned}
 \tag{10}$$

где  $H_{x_i} = H(x - x_i)$ ,  $H_{y_j} = H(y - y_j)$  - функции Хевисайда,

$\delta_{x_i} = \delta(x - x_i)$  - дельта функция

$\Delta U_i, \Delta U_j$  - расхождение точек на краях разрезов,  $\Delta \delta_{ij}$  - угол излома деформированной срединной поверхности на линиях разрезов.

Подстановка выражений (10) вместе с выражениями (4) в уравнения равновесия пластинки, находящейся в сложном сжато-растянуто-изгибаемом состоянии, приводит к системе трех дифференциальных уравнений в перемещениях:

$$\nabla^4 U_p = \sum_f \bar{e}_f (P_f) + \sum_f e_{ef} (U_f) + \sum_f \bar{e}_{ef} (\Delta U_f); \quad e = 1, 2, 3 \tag{11}$$

Это уравнение отличается от (7) наличием подчеркнутых слагаемых, которые учитывают отверстие. Операторы  $\bar{e}_{ef}$  содержат в качестве коэффициентов дельта-функции и их производные вплоть до третьего порядка. Это свидетельствует о том, что наличие разрезов и отверстий вызывает более разрывной характер распределения перемещений, усилий и моментов, чем наличие жестких включений в виде ребер или арматуры.

Таким образом, отсутствие внутренних связей, т.е. нарушение сплошности, вызывает более заметное, интенсивное возмущение поля напряжений, чем положение таковых связей, как в виде жестких включений. Это позволяет уже на стадии составления дифференциальных уравнений сделать вывод о том, что невозможно полностью выравнять напряжения в плите с помощью арматуры, если эта неравномерность вызвана наличием разреза или отверстия.

Можно лишь частично "сгладить" картину неравномерности напряжений, что и выполнено в настоящей работе, т.е. дан метод аналитического исследования влияния жестких включений на неравномерное распределение напряжений, связанное с отверстием.

При шарнирно-подвижном закреплении краев функции перемещений представляются в виде

$$\begin{aligned} U_1 = U_2 &= \sum_k \sum_l A_l(x) \sin \beta_k y + \sum_l \sum_j B_j(y) \cos \alpha_l x; \\ V_1 = V_2 &= \sum_k \sum_l C_l(x) \cos \beta_k y + \sum_l \sum_j D_j(y) \sin \alpha_l x; \\ W_1 = W_2 &= \sum_k \sum_l E_l(x) \sin \beta_k y + \sum_l \sum_j F_j(y) \sin \alpha_l x. \end{aligned} \quad (12)$$

Входящие в эти выражения коэффициенты  $A_l(x)$ ,  $B_j(y)$ ,  $C_l(x)$ ,  $D_j(y)$ ,  $E_l(x)$ ,  $F_j(y)$  - являются одномерными функциями соответствующих координат и содержат, помимо физико-геометрических характеристик ровер и арматуры, коэффициенты  $\Delta U_l$ ,  $\Delta V_l$ ,  $\Delta W_l$ ,  $\Delta U_j$ ,  $\Delta V_j$ ,  $\Delta W_j$ ,  $\Delta \gamma_{11}$ ,  $\Delta \gamma_{21}$ . Последние определяются из граничных условий на краях отверстия, скантсванного упругими элементами.

Эти условия записываются так:

$$\begin{aligned} T_1 = 0, S_1 = E_l F_l V_y''; M_1 = 0; Q_1 = \frac{\partial H}{\partial y} = E_l J_l W_y''''; \\ \text{или } x = x_1; y_1 < y < y_2 \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} T_2 = 0, S_2 = E_j F_j U_x''; M_2 = 0; Q_2 = \frac{\partial H}{\partial x} = E_j J_j W_x''''; \\ \text{или } y = y_1; x_1 < x < x_2 \end{aligned} \quad (14)$$

Подстановка (12) в условия (13) приводит к системе алгебраических уравнений для определения искомых коэффициентов. Порядок этой системы зависит от числа удерживаемых членов каждого ряда.

Для квадратной плиты с симметрично расположенным отверстием при удержании только первых членов рядов (12) эта система имеет 6 порядок. После решения этой системы и определения неизвестных коэффициентов строятся функции  $U$ ,  $V$ ,  $W$ , а затем с помощью соотношений упругости усилия и моменты. Исследования на примерах расчета показывают, что благодаря наличию разрывных функций ряды для компонентов напряженно-деформированного состояния сходятся достаточно быстро и практически одинаково как вблизи точек разрыва, так и в регулярной области.

Это позволяет исследовать неравномерность распределения усилий и моментов из-за отверстий и жестких включений с помощью относительно простых аналитических выражений.

Пятая глава посвящена программному обеспечению изложенных выше методов расчета плит с отверстиями и жесткими включениями. Программы составлены на основе методов решения систем полученных уравнений с сингулярными коэффициентами и соответствующими

щих алгоритмов построения регулярных и разрывных функций, определяющих закон распределения компонентов напряженно-деформированного состояния.

Рассмотрено несколько примеров расчета железобетонной плиты с арматурой и ребрами в одном направлении и с арматурой и ребрами в двух направлениях, загруженной как равномерно-распределенной, так и сосредоточенной нагрузкой.

Геометрические размеры плиты  $a = b = 300$  см, толщина 5 см, ребра имеют размеры  $h_p = 20$  см,  $b_p = 10$  см. Арматура с диаметром  $d = 8$ ; 14 мм, шаг армирования  $S = 10$ ; 30 см.

В результате реализации программы расчета для железобетонных ребристых плит исследовано влияние пада расположения арматурных стержней, их жесткости на неравномерность распределения напряжений (рис. 1 и 2).

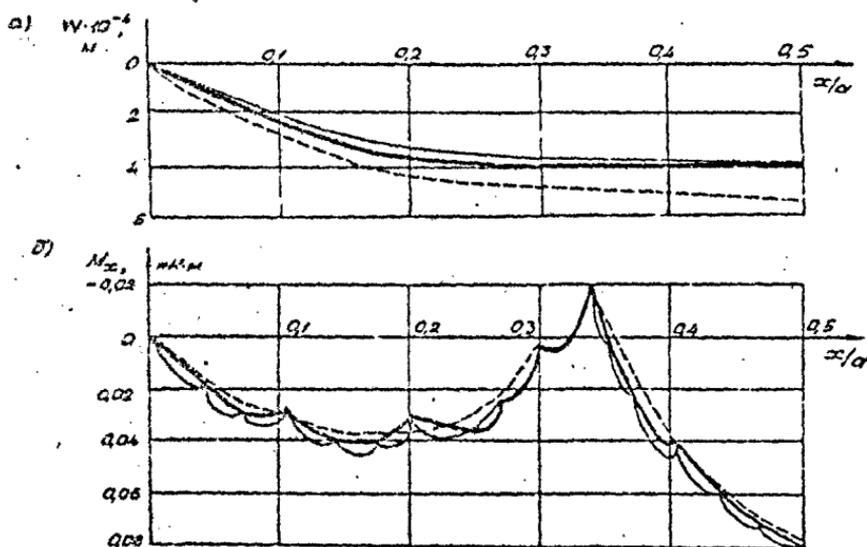


Рис. 1. Графики распределения прогибов  $W(x)$  и моментов  $M_x(x)$  в направлении поперек ребер по сечению  $y = \frac{b}{2}$  для плиты, армированной в одном направлении и загруженной равномерно-распределенной нагрузкой.

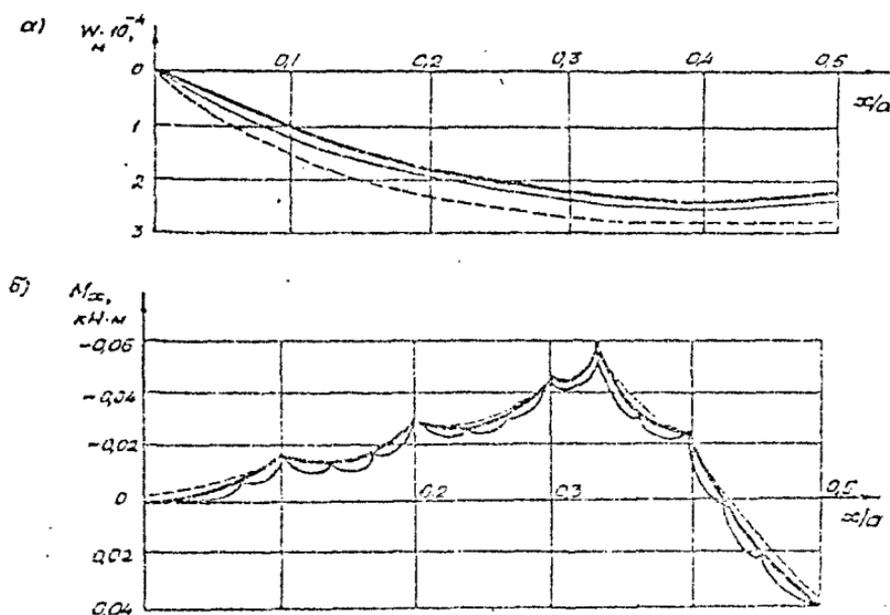


Рис. 2. Графики распределения прогибов  $W(x)$  и моментов  $M_x(x)$  в сечении  $y = \frac{b}{2}$  для плиты, армированной в двух направлениях и нагруженной сосредоточенной силой.

Вертикальные перемещения, прогибы максимум чувствительны к локальным особенностям, что и следовало ожидать.

Возможность уточненного расчета с анализом особенностей при учете неравномерного размерного распределения усилий и моментов позволяет оценить достоверность приближенного расчета по СНиП, когда эта неравномерность игнорируется. С другой стороны появляется возможность регулировать усилия и моменты в плите с помощью изменения шага расположения и жесткости ребер и арматурных стержней.

Составлена и реализована, как в общем виде, так и в упрощенном варианте, программа расчета плиты с прямоугольным отверстием, край и углы которого украшены ребрами и арматурными стержнями.

Упрощенный вариант состоит в поэтапном расчете ребристой

армированной плиты с отверстием. На первом этапе методом двойных тригонометрических рядов решается уравнение для сплошной ребристой плиты без отверстия. Это решение рассматривается как частное и оно дополняется вторым общим решением, содержащим разрывные функции в соответствии с сингулярными коэффициентами, которые обусловлены наличием разрезов и, следовательно, отверстий. При этом, поскольку перемещения, как функции координат являются плавными, регулярными, достаточно удержания не более трех членов ряда.

После определения усилий и моментов производится пересчет этих величин для определения усилий и моментов направленных под углом, т.е. параллельных косым арматурным стержням, если таковые имеются.

На следующем третьем этапе выделяется полоса в пределах длины арматурного стержня, расположенного параллельно или под углом к сторонам плиты. Полоса загружается, помимо внешней заданной нагрузки, краевыми усилиями и моментами, найденными из предыдущего расчета. Арматурные стержни в этой полосе рассматриваются как ребра, что дает возможность использовать ранее составленную программу для расчета ребристой плиты с применением разрывных функций.

В качестве примера рассмотрен, в частности, расчет квадратной железобетонной плиты с размерами  $a = b = 200\text{см}$ , размерами отверстия  $a' = b' = 50\text{см}$ , толщиной  $10\text{см}$  (рис.3).

Рассмотрены два варианта армирования: с одним стержнем сечением  $0,5\text{ см}^2$  и двумя сечениями по  $0,3\text{ см}^2$ , расположенными на расстоянии  $5\text{см}$  друг от друга.

Построены графики распределения усилий в направлении арматурных стержней. Графики имеют изломы в точках пересечения арматурных стержней, при этом в точках изломов усилия уменьшаются на 20-25% по сравнению с участками, где арматура отсутствует. Это обстоятельство может быть использовано для выравнивания напряжений вблизи углов отверстия и, следовательно, для уменьшения концентрации напряжений.

Таким образом, данная методика позволяет не только учесть местные особенности, но и оценить погрешность различных упрощенных подходов.

Графики распределения других компонент напряженного состоя-

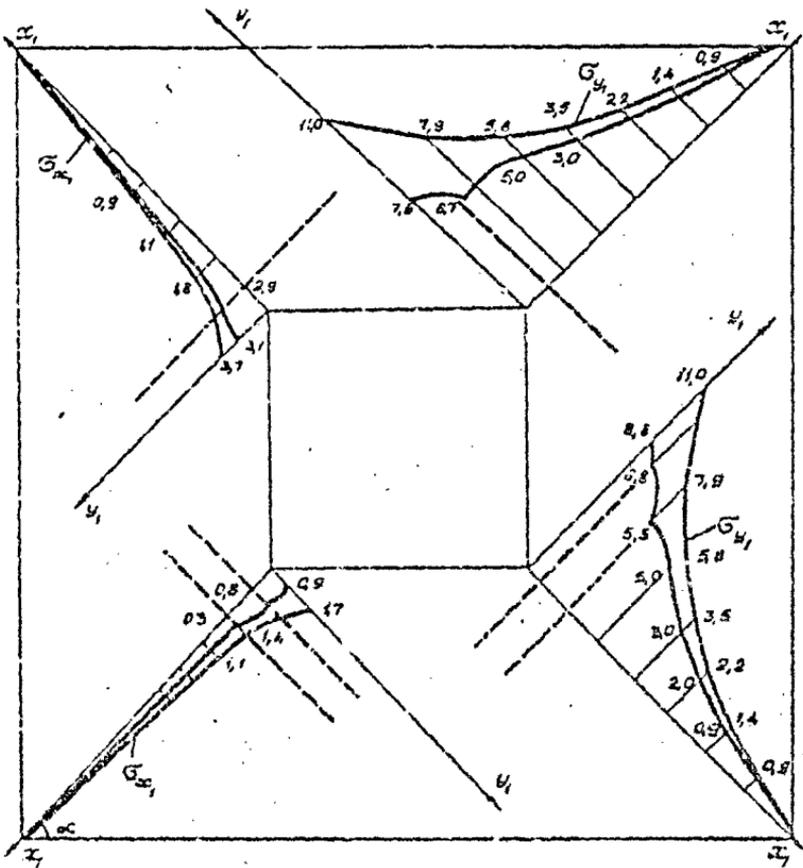


Рис. 3. Эпюры напряжений в скатой зоне бетона  $\sigma_{Y1}$  и  $\sigma_{X1}$  при действии единичной равномерно-распределенной нагрузки.

ния показывают, что арматурное включение вызывает появление разрывов и в касательных усилиях и в усилиях другого направления, перпендикулярного арматуре, но не в такой степени, как усилия вдоль арматуры. Это показывает, что последнее и определяет вероятность появления трещины.

Далее рассмотрен и приведен пример расчета этой же плиты при действии сосредоточенной силы. Анализ графика распределения усилий показывает, что местные арматурные стержни существенно влияют на характер распределения напряжений.

По сравнению с упрощенными вариантами расчета, когда местная неравномерность напряжений не учитывается, эта разница может достигать 40%. Анализ результатов вычислений показывает возможность регулирования напряжений.

В шестой главе приведены результаты экспериментальных исследований железобетонных плит отличающихся друг от друга наличием или типом источника концентрации напряжений на действие равномерно-распределенной и сосредоточенной нагрузки. Эти исследования были проведены с целью определения оптимальным путем влияния локального армирования и локально приложенной нагрузки на напряженно-деформированное состояние железобетонных плит перед тем как произойдет перераспределение напряжений в зависимости от изменения сосредоточенности размещения арматуры. Кроме того, результаты расчетных данных, полученные на основе предложенного алгоритма сопоставлялись с опытными.

Всего были изготовлены и испытаны 4 серии опытных образцов.

Первая серия ("II") состояла из трех сплошных железобетонных плит. Вторая серия ("III") - состояла из пяти железобетонных плит с отверстием в центральной зоне.

Третья серия ("IV") - состояла из трех железобетонных плит с ребрами. Плиты этих трех серий испытывались на действие равномерно-распределенной нагрузки. Три плоские плиты, предназначенные для испытания на действие сосредоточенной нагрузки составляли четвертую серию опытных образцов - ("V"). Образцы одной серии отличались количеством и схемой размещения арматуры участков усиления (зон концентрации напряжений).

Размеры плит трех серий в плане (II, III, III) одинаковы 2080x2080мм, а толщина  $h = 50$ мм. Плиты второй серии ("III") имели отверстия в центральной зоне с размерами сторон 500x500мм. В плитах третьей серии ("III") поперечные сечения контурных и пролетных ребер имели одинаковые размеры, равные 160x80мм. Плиты четвертой серии ("III") имели размеры в плане 1080x1080мм.

Растянутая зона плит серий II, III, III армировалась вязанной сеткой с шагом стержней 125...135мм,  $\alpha = 6$ мм, арматуры класса А-III. В ребристых плитах кроме этого над ребрами укладывались дополнительные арматурные сетки с рабочей арматурой  $\alpha = 6$ мм, арматуры класса А-III. Плиты четвертой серии III в растянутой зоне армировались вязанной сеткой из стержней  $\alpha = 6$ мм, класса А-III, расположенных с шагом 95мм. Фактический предел текучести и временное сопротивление арматурных стержней  $R_{s,e} = 395$ МПа,  $R_{s,u} = 430$ МПа. Бетон, со средней кубиковой прочностью  $R_m = 25$ МПа.

Сконструированный и изготовленный специально для решения поставленных задач стенд, позволяет загружать опытные образцы распределенной или сосредоточенной нагрузкой.

При испытаниях плит с отверстиями, образование трещин, независимо от схемы размещения дополнительной арматуры, происходило практически при одинаковой нагрузке - 6...8кПа, по диагонали угла отверстия. Схема развития критической трещины и схема разрушения плит зависели от характера размещения дополнительной арматуры, устанавливаемой в зоне отверстия. Разрушение плит с отверстиями во всех случаях характеризовался достижением напряжений в рабочей арматуре предела текучести вследствие чего в сечениях плиты образовались шарниры пластичности, которые превращали плиту в изменяемую систему.

Как видно из графика (рис.4), величины деформаций в бетоне при одинаковой нагрузке для разной схемы армирования зоны угла отверстия - различны. Для плиты с отверстием "III-0" и "III-2" при нагрузке 8кПа оно в 1,7 раза больше, чем в остальных плитах. Рассматриваемые деформации в плите с отверстием, армированной одним угловым стержнем  $\alpha = 12$ мм, самые низкие по сравнению с другими (в 2 раза при нагрузке 4кПа).

Такая разница в значениях напряжений в бетоне при одинаковой нагрузке связана с тем, что дополнительные (угловые) арма-

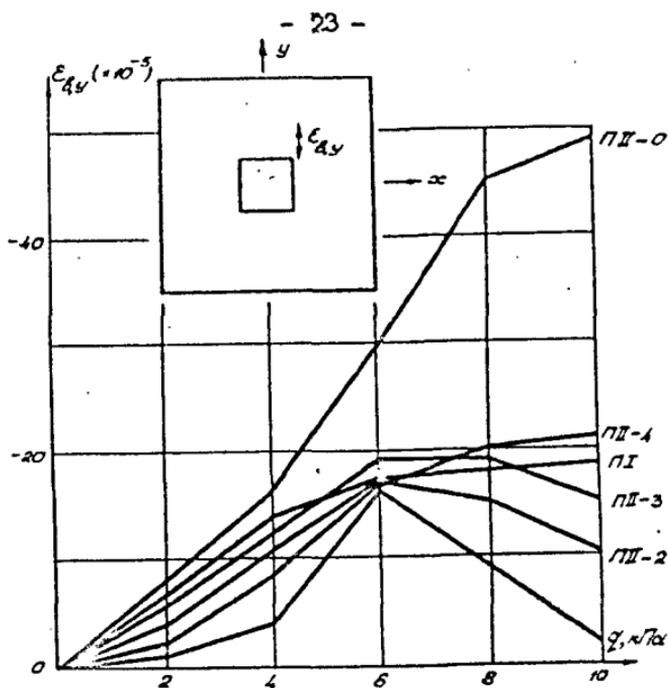


Рис. 4. Изменение деформаций в слатой зоне бетона в углах отверстия.

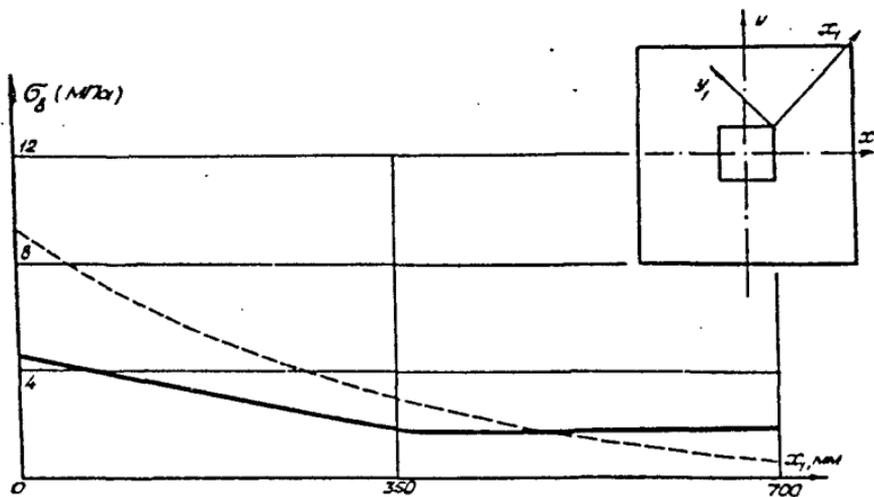


Рис. 5. Распределение напряжений в направлении, перпендикулярном диагонали при нагрузке  $q = 4 \text{ кПа}$  плиты ПИ-1.

турные стержни, размещенные в зоне отверстия, изменяют жесткостные характеристики сечения плиты и вызывают концентрацию напряжений в этой зоне.

Согласно выполненным аналитическим расчетам (рис.3), концентрация напряжений в углах отверстия зависела от укрепляющих элементов. Наличие арматурного стержня в углу отверстия заметно снижает напряжение в этой локальной зоне. В выполненных примерах это снижение достигает 30-50%. Аналогичный эффект обнаружен и в экспериментальных данных.

Сопоставление теоретических и экспериментальных результатов последования подтверждает приемлемость, с практической точки зрения, разработанного метода расчета.

Для плит с отверстиями (рис.5), качественно, характер зависимостей совпадает, количественное различие -- в пределах 5...25%. Особенно отчетливая неравномерность распределения относительных деформаций и моментов, вызванная источниками концентрации напряжений и выявляемая расчетом по предлагаемой методике, обнаруживается на графиках построенных для ребристых плит загруженных равномерно-распределенной и сплошных плит, загруженных осредоточенной нагрузкой. Количественное расхождение теоретических и экспериментальных данных незначительное (около 10%).

Сравнение прогибов также обнаруживает весьма близкое совпадение расчетных и экспериментальных данных.

По результатам анализа многочисленных экспериментальных данных и сопоставления их с расчетными, а также численного эксперимента, разработаны рекомендации по армированию зон концентрации напряжений некоторых типов железобетонных плит с нарушениями регулярности. Внедрение этих рекомендаций на нескольких предприятиях стройиндустрии Самаркандской, Кашкадарьинской областей позволили снизить расход арматуры в отдельных случаях до 3-8%.

Экономический расчет показал, что для рассмотренного класса плоских конструкций экономия обеспечивается за счет: оптимального армирования зон концентрации напряжений; снижения машинного времени (расчет плит по предложенной методике требует в 3-4 раза меньше времени по сравнению с традиционным).

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Выполненные автором комплексные экспериментально-теоретические исследования открывают возможность решить сложную задачу определения напряженно-деформированного состояния железобетонных плит с нарушениями регулярности с учетом концентрации напряжений в локальных зонах. Основные выводы сводятся к следующему:

1. Метод разрывных функций развит и впервые применен к решению ряда новых практически важных задач расчета железобетонных плит с нарушениями регулярностей в виде ребер, отверстий, арматурных стержней. Благодаря этому удалось на единой методологической основе получить аналитическое решение для плит с различными нарушениями регулярности, учитывающее разрывный характер распределения напряжений и подготовить теоретическую основу для выработки рекомендаций по их рациональному армированию.
2. Показана возможность регулирования напряжений с помощью арматуры, особенно, в наиболее напряженных зонах. Составлен метод и алгоритм расчета, позволяющий снизить коэффициент концентрации.
3. Выполнен цикл экспериментальных исследований железобетонных плит с ребрами, отверстиями, где впервые (для данного типа конструктивных элементов) определено влияние жесткости арматуры на неравномерность распределения напряжений в малой области нарушения регулярностей и показано, что эта неравномерность может быть весьма существенной и при определенных условиях должна учитываться в расчетах.
4. Показано, что идея выделения особенностей в виде разрывных функций для улучшения сходимости рядов может быть успешно применена к расчету локально армированных железобетонных плит и плитных систем. Это позволяет существенно упростить алгоритм и программу расчета по сравнению с традиционно принятыми и создает дополнительные благоприятные возможности для определения оптимального сочетания параметров при многовариантном проектировании конструкций.
5. Использование разрывных функций для расчета железобетонных плит с ребрами и отверстиями позволяет уже на стадии составления дифференциальных уравнений по виду сингулярных коэффициентов качественно оценить характер напряженно-деформи-

рованного состояния конструкции.

6. Представленная методика, теоретические и экспериментальные результаты, позволяют оценить погрешность, получаемую при одном из приближенных подходов, когда плита с отверстием рассматривается как балочная плита с ослабленным сечением, или когда жесткость арматуры усредняется с жесткостью бетона и сводится к приведенной жесткости плиты.
  7. Используемая в диссертации методика и выполненные теоретические и экспериментальные исследования дают возможность определить границы изменения процента армирования, размеров плиты, соотношения механических характеристик, при которых необходимо учитывать локальный характер распределения напряжений и при которых неравномерностью можно пренебречь.
  8. Результаты испытаний плит с отверстием и сплошных плит показали, что дополнительные арматурные стержни устанавливаемые с целью усиления зон концентрации вызывают дополнительные локальные напряжения и тем самым влияют на распределение напряжений в сечениях плиты, на схему развития трещин. Характер распределения напряжений в сечениях плиты зависит от схемы размещения дополнительной усиливающей арматуры.
  9. Испытания ребристых плит при различном армировании показали, что характер распределения напряжений и схема разрушения плиты зависят от жесткости ребер. При относительно меньшей жесткости ребер схема разрушения ребристых плит такая же, что и в плоских плитах, опертых по контуру. Открывается возможность проектирования плит с оптимальным размещением ребер и арматуры.
  10. Анализ распределения деформаций (напряжений) в арматуре и бетоне при испытании плоских плит с различной схемой размещения дополнительной арматуры в зоне приложения сосредоточенной нагрузки показал, что дополнительная арматура влияет на распределение напряжений в сечениях плиты. При этом, чем больше сосредоточено сечение дополнительной арматуры в зоне приложения сосредоточенной нагрузки, тем сильнее она снижает концентрацию напряжений, вызванную сосредоточенной силой.
- II. Разработанная аналитическая форма решения задач может быть развита и для других типов континуальных систем позволяет учесть изменение форм и видов нарушения нерегулярностей, возможную нелинейность физико-механических характеристик,

и тем самым может рассматриваться как один из вариантов основы строительной механики континуальных систем из композитных материалов.

2. Сравнительный анализ теоретических и экспериментальных значений прогибов и относительных деформаций показал их хорошее приближение. Характеры распределения деформаций, определенные по предлагаемой методике и обнаруженные в экспериментальных исследованиях вполне соответствуют. Расхождение в теоретических и экспериментальных значениях деформаций не превышает 5-20%.

Основное содержание диссертации изложено в следующих публикациях:

1. Халмуратов Р.И., Азизов Т.Н. Модель совместной работы арматуры с бетоном // Работа железобетонных конструкций при малоцикловых нагрузках: Сб. научных трудов ТашИИ. - Ташкент, 1989. - С.14-19.
2. Халмуратов Р.И. К вопросу проектирования железобетонных плит, ослабленных отверстиями // Архитектура и Строительство Узбекистана: - Ташкент, 1990. - № 6. - С.10-11.
3. Халмуратов Р.И. К расчету плоских железобетонных конструкций ослабленных отверстиями // Строительству высший научный и технико-экономический уровень: Тезисы докладов областной научно-практической и технической конференции. - Самарканд, Изд-во СамГАСИ, 1990. - С.56.
4. Халмуратов Р.И. К проблеме проектирования железобетонных пластин и оболочек ослабленных отверстиями // Актуальные проблемы использования исторического наследия в современной архитектурной практике: Тезисы докладов республиканской научно-практической конференции. - Самарканд, Изд-во СамГАСИ, 1990. - С.74.
5. Михайлов Б.К., Халмуратов Р.И. Определение возмущений поля напряжений вблизи углов прямоугольного отверстия в изгибаемой пластинке // Сб. научных тр. - Казань, Изд-во КИСИ, 1991. - С.121-124.
6. Халмуратов Р.И. Влияние арматуры на концентрацию напряжений в углах отверстия железобетонной ребристой плиты // Научно-теоретические и практические исследования в области строительства и архитектуры: Сб. научн. тр. - Самарканд, Изд-во СамГАСИ, 1991. - С.62-70.

7. Халмурадов Р.И. Действие локальных нагрузок на оболочки и пластины при решении дифференциальных уравнений с импульсными функциями в правой части // Библиографический указатель депонированных рукописей, № 10850, Вып. № 3. - М.: ВНИИТПИ Госстроя СССР, 1991.
8. Халмурадов Р.И. О расчете плоских оболочек с дефектами // Библиографический указатель депонированных рукописей, № 10854, Вып. 3. - М.: ВНИИТПИ Госстроя СССР, 1991.
9. Халмурадов Р.И. Обзор работ по конструкциям, составленным из плоских элементов // библиографический указатель депонированных рукописей, № 10853, Вып. № 3. - М.: ВНИИТПИ Госстроя СССР, 1991.
10. Халмурадов Р.И. К расчету железобетонных ребристых плит с учетом концентрации напряжений в углах отверстий // Исследования в области архитектуры, организации и планирования строительства: Сб. научн. тр. - Самарканд, Изд-во СамГАСИ, 1991. - С.64-73.
11. Халмурадов Р.И. Расчет сферической и конической оболочки на действие нагрузки распределенной по линии // Библиографический указатель, № 10973, Вып. № 7. - М.: ВНИИТПИ Госстроя СССР, 1991.
12. Михайлов Б.К., Халмурадов Р.И. Решение дифференциальных уравнений теории оболочек и пластин с переменными коэффициентами // Библиографический указатель, № 10974, Вып. № 7 - М.: ВНИИТПИ Госстроя СССР, 1991.
13. Халмурадов Р.И. Исследование устойчивости пластин с отверстием при продольном сжатии // Научно-теоретические и практические исследования в области строительства и архитектуры: Сб. научн. тр. - Самарканд, Изд-во СамГАСИ, 1991. - С.85-93.
14. Халмурадов Р.И. Об учете эффекта концентрации в ребристых локально-армированных железобетонных плитах // Научно-теоретические и практические исследования ученых СамГАСИ: Сб. научн. тр. - Самарканд, Изд-во СамГАСИ, 1992. - С.14-19.
15. Халмурадов Р.И. К вопросу оптимального конструирования ребристых плит // Научно-теоретические и практические исследования ученых СамГАСИ: Сб. научн. тр. - Самарканд, Изд-во СамГАСИ, 1992. - С.23-31.
16. Халмурадов Р.И. К проблеме усиления плитных железобетонных конструкций // Новые материалы для ремонтно-восстановительных работ и реставрации памятников архитектуры: Тезисы докладов

- 2-й Международной научно-технической конференции. - Самарканд, СамГАСИ, 1992. - С.42-44.
17. Халмуратов Р.И., Ф.Багиров, А.Малиев. К вопросу оптимального армирования железобетонных плит с нарушениями регулярности // Материалы международной научно-технической конференции по проблеме геотехнологии и долговечности бетонов в условиях сухого, жаркого климата. Книга 2, - Бухара, 1992. - С.85-92.
18. Михайлов Б.К., Халмуратов Р.И. Аналитическое решение задачи о напряженно-деформированном состоянии изгибаемой ребристой железобетонной плиты при локальном армировании // ЦНИИСК им. В.А.Кучеренко Исследование по строительной механике и надежности строительных конструкций: Сб.научн.тр. - М., 1992. - С.153-160.
19. Михайлов Б.К., Халмуратов Р.И., Хамиджанов Н.С. Расчет оболочек с разрывными параметрами на локальные нагрузки: Монография - Самарканд, Изд-во "Зарафшон", 1993. - С.234.
20. Халмуратов Р.И., Гулалиев С.Х., Багиров Ф. К вопросу о предельном состоянии железобетонных плит с отверстиями // Изв. вузов, Строительство. - Новосибирск, 1994. - № 2. - С.116-119.
21. Халмуратов Р.И., Гулалиев С.Х., Хушвактов У. К проблеме регулирования напряжений в зонах передачи сосредоточенных усилий // Сб.научных статей молодых ученых и талантливых студентов СамГАСИ. - Самарканд.: Изд-во СамГАСИ, 1994. - С.14-21.
22. Халмуратов Р.И., Гулалиев С.Х. Экспериментальные исследования тонкостенных железобетонных элементов с нарушениями регулярности // Сб.научных статей молодых ученых и талантливых студентов СамГАСИ. - Самарканд.: Изд-во СамГАСИ, 1994. - С.3-7.
23. Халмуратов Р.И. О расчете железобетонных плит с концентраторами в виде отверстий // Матр.сб.н.тр.Казанского ИСИ. - Казань, 1994. - С.92-99.
24. Халмуратов Р.И. Рекомендации по армированию плит с нарушениями регулярности // Современные проблемы строительного материаловедения: Материалы Международной конференции. - Самара, 1995. - С.143-146.
25. Халмуратов Р.И. К расчету железобетонных плит нерегулярного сечения на воздействие касательной нагрузки // ЦНИИ ГИИТ РУз. - № 2065 - Уз94, - Ташкент, 1994. - С.4

26. Халмурадов Р.И. Метод исследования локальных напряжений в железобетонных плитах с прямоугольными отверстиями // ГИТИ ГКНТ РУз.-№ 2064 - Уз94, - Ташкент, 1994. - С.8.
27. Халмурадов Р.И. Расчет экономической эффективности метода армирования плиты в зонах концентрации напряжений // Тезисы научно-практической конференции. - Бухара, 1994. - С.44-45.
28. Халмурадов Р.И. Экспериментальное исследование влияния локального армирования на напряженно-деформированное состояние железобетонных плит с отверстиями // ГИТИ ГКНТ РУз. - № 2063 - Уз94. - Ташкент, 1994. - С.9.
29. Халмурадов Р.И. Некоторые аспекты учета фактической жесткости арматуры в тонкостенных конструкциях // СамГАСИ Марказий Осиё шароитида бино ва иншоотлар зилзилабардошлиги муаммолари.: Сб.научн.тр. - Самарканд: Изд-во СамГУ, 1994. - С.3-6.
30. Халмурадов Р.И. Расчет пластинки нерегулярного сечения с использованием разрывных функций // ГИТИ ГКНТ РУз. - № 2066 - Уз94. - Ташкент, 1994. - С.9.
31. Халмурадов Р.И. К вопросу обеспечения надежности железобетонных плит // Марказий Осиё шароитида бино ва иншоотлар зилзилабардошлиги муаммолари.: Сб.научн.тр. - Самарканд: Изд-во СамГУ, 1994. - С.6-16.
32. Халмурадов Р.И. Обзор методов расчета железобетонных плит с разрезами и отверстиями, имеющие подкрепления // ГИТИ, ГКНТ РУз. - № 2087 - Уз94. - Ташкент, 1994. - С.14.
33. Халмурадов Р.И. Уйна деворли темирбетон курилмаларда арматуранинг халқий бикрлимини хисобга олиш муаммосига доир // Сб.тезисов конференции Жизакского ПИ. - Ташкент: Изд-во "Узбекгидрогеология", 1994. - С.24.
34. Халмурадов Р.И. Расчет железобетонных плит с нарушениями регулярности сечения. Монография. - Самарканд: Изд-во "Занафшон", 1994. - С.127.
35. Халмурадов Р.И. Исследование влияния арматуры на напряженное состояние пластин с нарушениями регулярности // Совершенствование конструкций из дерева и пластмасс и методов их расчета: Сб.статей, 1994. - С.26-31.
36. Стриго Г.С., Халмурадов Р.И., Хасанов А.З., Мустақимов В.Р. Совершенствование конструктивных решений и технологий возведения зданий из железобетона // Архитектурно-строительная наука в развитии экономики Республики Узбекистан.: Тезиси

докладов международного симпозиума. - Ташкент: Изд-во ТАСИ, 1994. - С.139-140.

37. Халмурадов Р.И. Расчет железобетонных плит с нарушениями регулярности в виде ребер и отверстий (Рекомендации по расчету и проектированию). - Самарканд: Республиканский строительно-промышленный концерн, проектно-научно-исследовательский институт "СамаркандНИИ гражданпроект", 1994. - С.18.
38. Халмурадов Р.И., Оборудование для испытания железобетонных плит. Рекомендации в помощь заводским лабораториям. - Самарканд: Республиканский строительно-промышленный концерн, проектно-научно-исследовательский институт "СамаркандНИИ гражданпроект", 1994. - С.10.
39. Халмурадов Р.И. Совершенствование методов расчета железобетонных плит // Экспресс-информация "Строительство и архитектура", Сейсмостойкое строительство, Вып. № 1. - М., 1995. - С.18-25.
40. Халмурадов Р.И. К расчету ребристых железобетонных плит // Известия вузов Р.Узбекистан. Технические науки, № 1. - Ташкент, 1995.
41. Халмурадов Р.И. Экспериментальное исследование напряженно-деформированного состояния железобетонных плит с отверстиями // Известия вузов Р.Узбекистан. "Технические науки", № 2. - Ташкент, 1995.
42. Михайлов Б.К., Халмурадов Р.И. Алгоритм расчета железобетонных плит с нарушениями регулярности сетки // Известия вузов, Строительство. - Новосибирск, 1995. - № 4. - С.3-6
43. Халмурадов Р.И. К развитию теории расчета плит с отверстиями // Повышение эффективности технологии производства строительных изделий и конструкций: Сб. статей. - Самарканд, 1995. - С.78-82.

R. I. KHIO/MURADOV  
PERFECTION OF THE THEORY AND METHODS OF  
REINFORCED CONCRETE SLABS CALCULATIONS WITH  
THE DISTURBANCES OF REGULARITY

The thesis is devoted to the working out of effective methods of flat systems projecting with the disturbances of regularity, on the base of application of generalized breaking functions, their experimental test and to the working out of recommendations on rational placing of bars in zones of stress concentrations.

As a result of carried out complex experimental-theoretical investigations, the method of breaking functions has been developed and applied to the solution of some new practically important problems of reinforced concrete slabs calculations with the disturbances of regularity. Thanks to it, it turned out well on the united methodological base to get an analytical decision for slabs with different disturbances of regularity, taking into account the breaking character of stress distributions and to prepare theoretical base for carrying out recommendations on their rational reinforcing.

A series of experimental investigations of reinforced concrete slabs with ribs, openings, loaded by even distribution of loads has been carried out and also the investigations of solid slabs to the effect of concentrated loads, where for the first time (for the given type of structural elements) the influence of reinforcement rigidity to the unevenness of stress distributions in a small field of disturbances of regularity has been determined and it has been shown that this unevenness may be a very essential one and under the definite conditions it must be taken into account in calculations.

The results of investigations and corresponding recommendations have been introduced in some designing organizations and enterprises of building industry.

This allows to raise the reliability of flat reinforced concrete structures, their seismic resistance.

Халмуратов Р.И.

Совершенствование теории и методов расчета  
железобетонных плит с нарушениями регулярности

Диссертация посвящена разработке эффективных методов проектирования плоских систем с нарушениями регулярности, на основе применения обобщенных разрывных функций, экспериментальной проверке их и разработке рекомендаций по рациональному размещению арматурных стержней в зонах концентрации напряжений.

В результате проведенных комплексных экспериментально-теоретических исследований, метод разрывных функций развит и применен к решению ряда новых практически важных задач расчета железобетонных плит с нарушениями регулярностей. Благодаря этому удалось на единой методологической основе получить аналитическое решение для плит с различными нарушениями регулярности, учитывающее разрывный характер распределения напряжений и подготовить теоретическую основу для выработки рекомендаций по их рациональному армированию.

Выполнен цикл экспериментальных исследований железобетонных плит с ребрами, отверстиями загруженными равномерно распределенной нагрузкой, а также сплошных плит на действие сосредоточенной нагрузки, где впервые (для данного типа конструктивных элементов) определено влияние жесткости арматуры на неравномерность распределения напряжений в малой области нарушения регулярностей и показано, что эта неравномерность может быть весьма существенной и при определенных условиях должна учитываться в расчетах.

Результаты исследований и соответствующие рекомендации наведены в ряде проектных организаций и предприятиях строительного устройства. Это позволяет повысить надежность плоских железобетонных конструкций, их сейсмостойкость.