

Министерство высшего и среднего специального образования

С С С Р

Челябинский политехнический институт
им. Ленинского комсомола

На правах рукописи

ТРЕГУЛОВ Герман Владимирович

ИССЛЕДОВАНИЕ РАБОТЫ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ КОЛЬЦЕВЫХ ПЛИТ
НА УПРУГОМ ОСНОВАНИИ

Специальность 01.02.03 -

"Сопротивление материалов и строительная
механика"

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

Челябинск, 1975

Работа выполнена на кафедре строительной механики
Челябинского политехнического института имени Ленин-
ского комсомола.

Научный руководитель - кандидат технических
наук, доцент
В.И.Соломин.

Официальные оппоненты - доктор технических
наук, профессор
А.А.Оатул,
кандидат технических
наук, доцент
А.С.Несмеянов.

Ведущее предприятие - ВНИПИ Теплопроект.
Автореферат разослан "___" ноября 1975 г.

Защита диссертации состоится 17 декабря 1975 года,
в 15 часов, в ауд. 428 на заседании Совета по присуж-
дению ученых степеней инженерно-строительного факуль-
тета Челябинского политехнического института имени Ленин-
ского комсомола (454044, г. Челябинск, 44, пр. им. В.И.Ле-
нина, 76, тел. 39-37-00).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке инсти-
тута.

Просим Вас и сотрудников Вашего учреждения, интересу-
ющихся темой диссертации, принять участие в заседании
Ученого Совета или прислать отзыв на автореферат в двух
экземплярах, заверенных печатью.

Ученый секретарь Совета
кандидат технических наук, доцент

В.В. Капранов



Общая характеристика работы

Актуальность тем. Фундаменты в виде бадок, демент и плит находят широкое применение в строительстве. Загнаты на устройство фундаментов весьма значительны. В докладе И.А.Ганичева на УШ Международном Конгрессе по механике грунтов и фундаментостроению приведены следующие данные. В девятой пятилетке расходы на устройство оснований и фундаментов составляют около 30 млрд.руб. при общих капиталовложениях 500 млрд. руб.

Широкое распространение получили круглые и кольцевые железобетонные плиты в качестве фундаментов сооружений башенного типа (дымовые трубы ТЭЦ, телебашни и т.п.). Постоянное увеличение высоты этих сооружений влечет за собой рост нагрузок, передаваемых на грунт, что в свою очередь ведет к увеличению размеров и материалоемкости фундаментов.

Существование метода определения усилий в железобетонном фундаменте дает возможность оценить его прочность, но не позволяют рассмотреть стадии его нормальной эксплуатации. В связи с этим актуальными являются задачи связанные с разработкой методов, алгоритмов и программ для ЭВМ определения усилий в фундаментных конструкциях с учетом особенностей деформирования железобетона на всех стадиях нагружения. Вместе с тем, результаты расчетов зависят и от того, насколько правильно принята модель основания отражает работу грунта. Поэтому при расчетах фундаментных конструкций весьма важным является выбор модели основания, закона деформирования, адекватного действительному поведению материала фундамента, а также выбор метода решения разрешающих математических уравнений.

Выполненная работа посвящена решению этих задач применительно к расчету круглых и кольцевых фундаментов.

Цель работы. Совершенствование методов расчета фундаментных плит на основе более полного учета физических свойств материала плиты и основания.

Методы выполнения исследований. Исследование точности вычислительных методов, принятых для расчета плит на упругом основании, проводилось путем сопоставления результатов, на основе различных исходных данных, и сравнения с решениями других авторов. Изучение влияния параметров грунтового основания на работу плит проводилось путем анализа многочисленных расчетов круглых и кольцевых фундаментов.

Исследование влияния неупругих деформаций железобетона на работу фундаментных плит проводилось путем выявления качественных и количественных зависимостей между внешней нагрузкой и характеристиками напряженно деформированного состояния плиты, на основе проведенных расчетов, а также сравнением расчетов в линейной и нелинейной постановках.

Научная новизна работы — состоит в выборе наиболее рациональных форм реализации методов расчета фундаментных плит; разработке алгоритмов и программ для ЭВМ для расчета фундаментных плит на основе использования последних достижений теории деформирования железобетона; выявлении некоторых специфических особенностей поведения фундаментных плит под нагрузкой.

Практическая ценность. Разработаны алгоритмы и программы расчета упругих круглых и кольцевых фундаментов. Составлены таблицы для расчета круглых и кольцевых плит, лежащих на упругом слое. Таблицы могут быть использованы при проектировании фундаментов, в которых нелинейность деформирования железобетона проявляется слабо (плиты без трещин, жесткие плиты, гибкие плиты при небольших нагрузках и т.д.). Разработан алгоритм и программа расчета кольцевых фундаментных плит с учетом нелинейности деформирования железобетона. Алгоритм позво-

ляет проследить за работой плиты на всех стадиях нагружения, выполнять расчеты не только на прочность, но и на трещиностойкость, а также подобрать рациональное расположение арматуры.

Реализация результатов работы. Разработанные в диссертации алгоритмы, программы для ЭВМ, таблицы для расчета плит и результаты исследований использованы НИИ оснований, а также институтами фундаментпроект и ВНИПИ Теплопроект при проектировании ряда фундаментов реальных сооружений. В частности, с помощью таблиц и программ расчета кольцевых железобетонных плит были произведены расчеты фундаментов дымовых труб Запорожской, Новостерлитамакской ТЭЦ и Рязанской ГРЭС.

Апробация работы. Результаты работы были доложены на III Научно-технической конференции Уральского политехнического института им. С.М.Кирова, посвященной 100-летию со дня рождения В.И.Ленина, Свердловск, 1970 г.; III Всесоюзном совещании по механике грунтов и фундаментостроению, Киев, 1971 г.; УП Научной конференции по применению ЭВМ в механике деформируемого твердого тела, Ташкент, 1975 г.; научно-технических конференциях Челябинского политехнического института им. Ленинского комсомола, 1968-1975 гг.

Публикации. По результатам выполненного исследования опубликовано 7 работ.

Объем работы. Диссертация изложена на 151 стр., иллюстрируется 31 рисунком, 8 таблицами, и содержит список использованной литературы из 177 наименований. Диссертация состоит из введения, четырех глав и заключения.

Состояние вопроса и задачи исследования

Анализ существующих моделей основания и методов расчета фундаментных плит показывает.

1. К линейно деформируемым относятся модели Винклера, упругого полупространства, линейно деформируемого слоя и комбинированные модели Г.К.Клейна, Б.Г.Коренева, П.И.Пастернака, М.М.Филоненко-Бородича, В.З.Зласова, И.Я.Штаермана - А.П.Синицина, Л.Н.Репникова и др.

Эксперименты со штампами и моделями гибких фундаментных конструкции показывают, что предпосылка о линейной деформации грунта часто не соответствует действительности. Стремление учесть нелинейные свойства грунта привело к созданию новых моделей основания. Так, И.И.Черкасов и Г.К.Клейн предложили модель, учитывающую раздельно восстанавливающуюся и остаточную деформации грунта. При этом общие деформации определяются как для упругого полупространства или слоя, а местные связаны нелинейно с нагрузкой. А.В.Вронский, С.Н.Клепиков и др. предлагают модель, аналогичную винклеровой, но с коэффициентом постели, зависящим от давления и переменным по площади фундамента. В область создания нелинейных моделей основания существенный вклад внесли С.Н.Клепиков, М.И.Горбунов-Посадов, И.И.Черкасов, Г.К.Клейн, Б.П.Попов, А.В.Вронский, Л.П.Винокуров и др. Модели грунта при различных физических зависимостях между деформациями и напряжениями рассматривались также И.Х.Арутюняном, Д.К.Зарецким, М.В.Малышевым, В.Н.Широковым, В.И.Соломиным и др.

Несмотря на большое количество работ применение нелинейных моделей основания в практике фундаментостроения ограничено, ввиду недостаточной экспериментальной проверки их и трудностей в определении параметров.

В то же время в стадии нормальной эксплуатации, когда среднее давление на грунт обычно не превышает норма-

тивного, зависимость между давлением и осадками по существу оказывается линейной. В этом случае при расчете фундаментов вполне приемлемы линейные модели.

В работе в качестве основной модели основания принят линейно деформируемый слой, а также полупространство (как частный случай слоя при толщине его, равной ∞) и модель Винклера с постоянным и переменным по радиусу коэффициентом постели.

2. Большой вклад в развитие теории и методов расчета фундаментных плит внесли Б.Г.Кореньев, М.И.Горбунов-Посадов, Б.Н.Демочкин, О.Я.Шехтер, С.Н.Клепиков, А.П.Синицын, Р.В.Серебряный, К.Е.Егоров, А.Г.Ишкова, Н.Воровика, Н. Hertz, Е.А.Палатников и др. Работы перечисленных авторов, в основном, используют предпосылку о линейной деформируемости как основания, так и материала плиты. Практика и эксперименты последних лет показывают, что предпосылка о линейной деформируемости плиты является весьма приближенной. Величина предельной нагрузки в упругой постановке оказывается сильно заниженной, что ведет к перерасходу материала.

Современный уровень развития теории и практики фундаментостроения и вычислительной техники позволяет отказаться от предпосылки о линейной деформируемости материала фундамента. В связи с этим весьма актуальными являются задачи, связанные с совершенствованием расчетных методов, разработкой алгоритмов и программ расчета фундаментных конструкций с учетом нелинейности деформирования материала.

Вопрос об учете физической нелинейности деформирования фундамента был впервые рассмотрен Б.Г.Кореньевым, который разработал метод расчета железобетонных фундаментных балок и плит с учетом пластических деформаций в арматуре. К этому же направлению относятся работы Р.В.Серебряного, В.Т.Чернова, Н.П.Виноградовой, Я.М.Немировского, В.М.Бондаренко, Я.Д.Дившица, М.М.Онищенко и др.

Широкое распространение нашел также метод предельного равновесия, позволяющий учесть нелинейность деформирования железобетона. Основы его, разработанные А.А.Гвоздевым, получили дальнейшее развитие в работах А.Р.Рханицына, В.Н.Байкова, С.С.Давидова, С.М.Крылова, А.М.Овечкина и др. С помощью этого метода можно довольно просто определить предельную нагрузку или подобрать арматуру из условия прочности. Но недостаток его заключается в том, что распределение усилий и деформаций в эксплуатационной стадии остается неизвестными.

В последние годы были достигнуты значительные успехи в изучении законов деформирования железобетона. В работах В.И.Мурашева, А.А.Гвоздева, С.А.Дмитриева, Я.М.Немировского и др. были установлены законы деформации железобетонного бруса. Для железобетонных плит физические уравнения получены в работах А.А.Гвоздева, С.М.Крылова, Я.Д.Лившица, В.М.Бондаренко, и др. В частности, для плит, армированных в двух направлениях, наиболее полно физические уравнения были разработаны Н.И.Карпенко. Эти работы позволили установить и рассмотреть все стадии работы железобетонного элемента как при отсутствии трещин, так и после появления. В них дана также методика определения жесткостей балок и плит на каждой стадии.

В данной работе железобетон рассматривается как нелинейно деформируемый материал с проявлением нелинейности как до, так и после появления трещин. Физические уравнения приняты по теории А.А.Гвоздева, С.М.Крылова и Н.И.Карпенко.

3. В настоящее время расчет фундаментных плит ведется, как правило, на основе технической теории изгиба пластин. Широкое применение получили различные способы замены дифференциального уравнения изгиба плиты системой линейных алгебраических уравнений. К ним в первую очередь относятся метод конечных разностей, вариационно-разностный метод, метод конечного элемента, метод Б.И.Мемочкина и др.

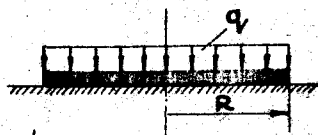
В работе используются общепринятые геометрические гипотезы теории пластин. Связи между плитой и основанием принимаются вертикальными, двусторонними. Для расчета фундаментных плит используются следующие методы: Б.И. Кемочкина, конечных разностей и вариационно-разностный.

Основными задачами диссертации являются: разработка алгоритмов и программ расчета фундаментных плит на основе уравнений более полно отражающих закономерности деформирования железобетона и грунта; исследование влияния параметров основания и нелинейных деформаций железобетона на работу фундаментных плит.

Исследование точности метода Б.И. Кемочкина и влияния параметров упругого слоя на работу фундаментных плит

Для оценки погрешностей метода Б.И. Кемочкина, возникающих в результате дискретизации плиты, исследовано влияние расположения связей плиты с основанием и количества участков деления радиуса на точность решения. С этой целью произведены расчеты плит при различных видах загрузки и числе неизвестных $n = 4, 5, \dots, 22$. Для каждого варианта расчет производился по двум схемам. Основным отличием схем, при общем числе неизвестных, являлось положение крайних стержней. В одной крайние стержни отстоят на полшага от края плиты (схема, принятая Б.И. Кемочкиным), в другой - на краю.

Расчеты показали, что для жестких плит решения по вышеуказанным схемам дают приближение к точному сверху и снизу. Схема, принятая Б.И. Кемочкиным, дает приближение к точному быстрее. При числе участков разбиения, равном 22, погрешности незначительны. Для гибких плит как правило имеет место та же картина. На рис. 1 приведены результаты для равномерно нагруженных плит на упругом полупространстве.



Формулы перехода:

$$M = \bar{M} q T R^2, \quad p = \bar{p} \cdot q,$$

$$w = \bar{w} \cdot \frac{1 - \nu^2}{E_0} \cdot q T R$$

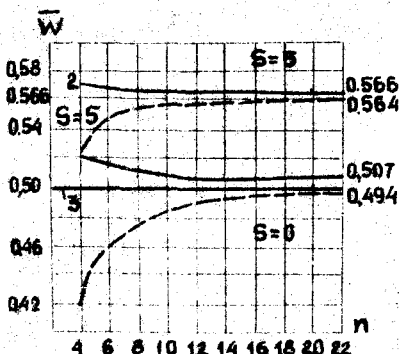
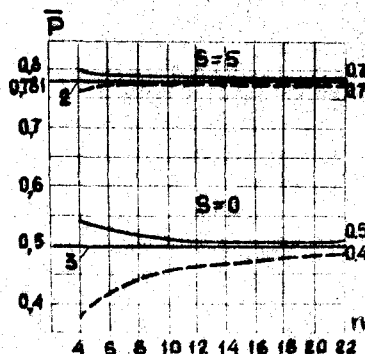
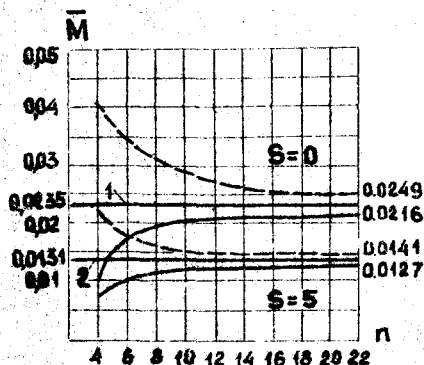


Рис. 1. К оценке точности решения Б.Н. Лемочкина для круглых равномерно нагруженных плит на упругом полупространстве. Сплошные кривые - решения по схеме со стержнем отстоящим на полшага от края, пунктирные - по схеме со стержнем на краю плиты. Прямые линии - точные решения: 1 - М.И. Горбунова-Посадова, 2 - К.Е. Егорова, 3 - Л.В. Буссинеска

На основании проделанного анализа, в дальнейших расчетах круглых плит использовалась схема Б.Н.Демочкина с разбиением радиуса на 24,5 участка.

Произведены многочисленные расчеты упругих круглых фундаментных плит для нескольких видов загрузки при различных параметрах плит и линейно деформируемого слоя. Для оценки полученного решения результаты наших расчетов сравнивались с решениями К.Е.Егорова для плит на слое и М.И.Горбунова-Посадова для плит на полупространстве. Во всех случаях наблюдалось хорошее совпадение.

Исследовано влияния толщины, модуля упругости и граничных условий на нижней плоскости слоя на работу круглых плит при различных видах загрузки. На рис. 2 показаны зависимости усилий и прогибов круглой плиты от их гибкости и относительной мощности слоя. Анализ показал, что с уменьшением толщины слоя моменты и осадки значительно снижаются. На величину моментов в большей степени влияет изменение толщины слоя и в меньшей - модуль его упругости. На величину осадок в большей мере влияет изменение модуля упругости слоя чем его толщина. Так, при изменении мощности слоя в 10 раз, моменты изменяются в 2 - 3 раза, в чтобы достичь такого же эффекта за счет изменения модуля упругости, нужно изменить его примерно в 20 раз. Осадки же при изменении модуля упругости изменяются почти пропорционально. Усилия в плите при толщине слоя равном или большем $5R$ практически совпадают с усилиями, подсчитанными для полупространства. При малых значениях толщины слоя картина Винклеровского основания не наблюдается. Кроме того, величина усилий и прогибов плиты почти не зависит от граничных условий на нижней плоскости слоя.

Показаны результаты сравнения полученных нами решений и решений с использованием приближенного метода М.И.Горбунова-Посадова, по которому для плит на слое предлагается применять метод расчета аналогичных плит на полу-

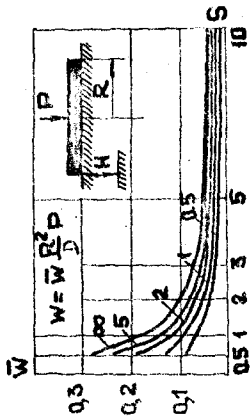
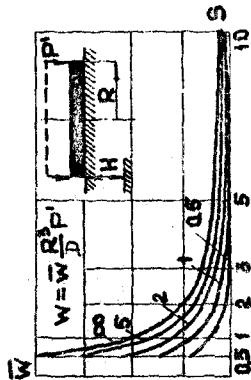
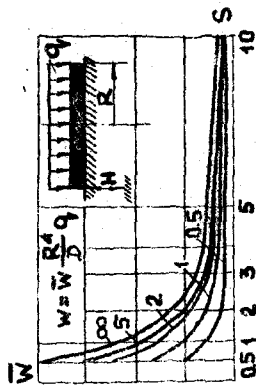
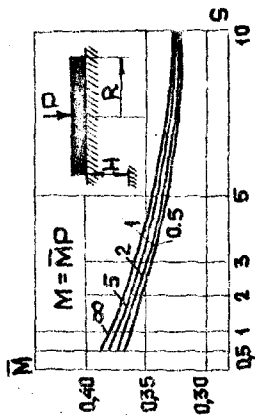
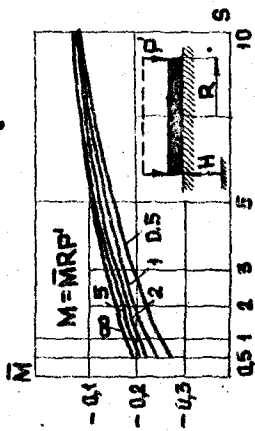
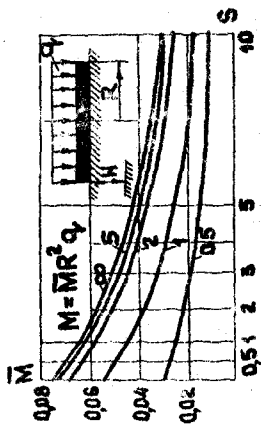


Рис. 2. Графики изменения моментов и прогибов в центре круглой плиты в зависимости от густоты S и относительной мощности слоя H/R при различных видах нагрузки. Цифры у кривых — значения H/R (от 0,5 до ∞)

пространстве с введением условного повышенного модуля деформации грунта. Оказалось, что при толщине слоев, меньших R , этот метод дает завышенные значения моментов в 1,5 - 2 раза.

В работе приводится алгоритм и программа расчета осесимметрично деформируемых упругих кольцевых плит переменной жесткости. Попытка использования метода Е.Н. Кемочина для расчета кольцевых плит переменной жесткости показала, что выражения для прогибов плиты оказываются весьма громоздкими. Поэтому был использован метод конечных разностей. На основе этого метода разработан алгоритм, составлена программа и проведены исследования влияния параметров слоя на работу кольцевых плит. Анализ показал, что качественная картина влияния параметров слоя на работу кольцевых и круглых плит совпадает.

По заказу НИИ Оснований на основе результатов вычислений составлены таблицы для расчета круглых и кольцевых фундаментных плит, в которых в зависимости от вида загрузки, толщины слоя и показателя гибкости плиты (по М.И. Горбунову-Посадову) даны условные значения усилий, прогибов плиты и реактивных давлений. Эти таблицы использованы заказчиком, а также институтами фундамент-проект и ВНИПИ Теплопроект при проектировании фундаментов дымовых труб Запорожской ТЭЦ (круглая плита) и Новостерлитамакской ТЭЦ (кольцевая плита).

Метод, алгоритм и программа расчета кольцевых железобетонных фундаментов

Рассматриваются нелинейно деформируемые кольцевые железобетонные фундаментные плиты, толщина и процент армирования которых в окружном и радиальном направлениях могут произвольно меняться по радиусу.

Для описания законов деформирования плиты использованы уравнения, предложенные Н.И. Карпенко. При составлении системы разрешающих уравнений применен вариационно-равностный метод.

Потенциальная энергия системы

$$\Pi = V + V^0 + U,$$

где V - потенциальная энергия деформации плиты;
 V^0 - потенциальная энергия деформации основания;
 U - потенциал внешней нагрузки.

В случае осесимметричной деформации формулы для моментов в плите имеют вид

$$\begin{aligned} M_r &= AK_r + BK_\theta, \\ M_\theta &= BK_r + CK_\theta. \end{aligned} \quad (1)$$

Здесь K_r, K_θ - кривизны в радиальном и окружном направлениях;

A, B, C - изгибные жесткости плиты в радиальном и окружном направлениях, причем $B = A\nu_r = C\nu_r$;

ν_r, ν_θ - главные коэффициенты поперечной деформации.

При допущениях о вертикальности и двусторонности связи можно записать

$$\begin{aligned} V &= \pi \int_{R_1}^R \left[AK \left(\frac{d^2 w}{dr^2} \right)^2 + 2B \frac{d^2 w}{dr^2} \cdot \frac{dw}{dr} + C \frac{1}{r} \left(\frac{dw}{dr} \right)^2 \right] dr, \\ V^0 &= \pi \int_{R_1}^R p w r dr, \quad U = -2\pi \int_{R_1}^R q w r dr, \end{aligned} \quad (2)$$

где p - реактивное давление;

q - внешняя нагрузка;

w - вертикальные перемещения;

R - наружный радиус;

R_1 - внутренний радиус кольцевой плиты.

Кривизны и производные в (1) и (2) выражаются через перемещения w с помощью конечных разностей, на радиально-кольцевой сетке с постоянными Δr и $\Delta \theta$. Интег-

рал по r заменяется суммой из $n-k$ слагаемых, где k - номер узла на внутреннем, а n - на наружном крае.

В результате энергия плиты может быть выражена в виде

$$V = V(A_i, B_i, C_i, w_i), \quad i = k, k+1, k+2, \dots, n.$$

Для линейно деформируемых оснований можно записать

$$w = A \cdot p,$$

где w - вектор перемещений;

A - матрица единичных осадок основания;

p - вектор реактивных давлений.

После обращения матрицы A , $p = A^{-1} w$ и, следовательно, но,

$$V^* = V^*(w_i).$$

Потенциал внешней нагрузки также представляется как функция вертикальных перемещений плиты

$$U = U(w_i).$$

Условие минимума потенциальной энергии запишем в виде

$$\frac{\partial \Pi}{\partial w_i} = \frac{\partial V}{\partial w_i} + \frac{\partial V^*}{\partial w_i} + \frac{\partial U}{\partial w_i} = 0. \quad (3)$$

Система (3) является нелинейной, так как содержит жесткостные коэффициенты A, B, C , зависящие от прогибов.

Расчет плиты производится методом упругих решений

А.А.Ильюшина в форме переменных параметров упругости.

На каждом этапе плита принимается линейно деформируемой, неоднородной и анизотропной. Жесткость плиты для каждого следующего приближения определяется по напряженно-деформированному состоянию предыдущего решения. При вычислении жесткостей используется алгоритм, разработанный И.И.Шивовым для круглых железобетонных плит. Жесткости вычисляются по кривизнам.

В работе дается описание программы для ЭВМ "Минск-22", которая позволяет определить условные значения внутренних усилий в плите, прогибов, реактивных давлений, кривизн, жесткостей и ширину раскрытия трещин при любой осесимметричной нагрузке. Максимальное число участков разбиения на радиусе плиты - 58.

Описанный метод и программа позволяют определить напряженно-деформированное состояние плиты на любом этапе нагружения.

Исследование влияния неупругих деформаций железобетона на работу фундаментных плит

С помощью программы были выполнены многочисленные расчеты кольцевых железобетонных плит. На основе полученных результатов:

1. Дана оценка точности решения.
2. Исследовано влияние неупругих деформаций железобетона на напряженно-деформированное состояние плит.
3. Даны рекомендации по армированию фундаментов дымовых труб Ново-Стерлитамакской ТЭЦ и Рязанской ГРЭС.

Оценка точности метода производилась путем сравнения расчетов плит в линейной постановке с решением К.Е.Егорова для абсолютно жесткого кольцевого фундамента на полупространстве. Оба решения практически совпадают.

Для качественной оценки всего решения с учетом неоднородности, анизотропии и нелинейности деформирования плиты производилось сравнение с решением В.И.Соломина и И.И.Шишова для круглых железобетонных плит. На рис. 3, 4 приведены результаты сравнения для двух случаев нагружения. Решения даны в линейной и нелинейной постановках. Результаты сопоставления позволили сделать вывод о при-

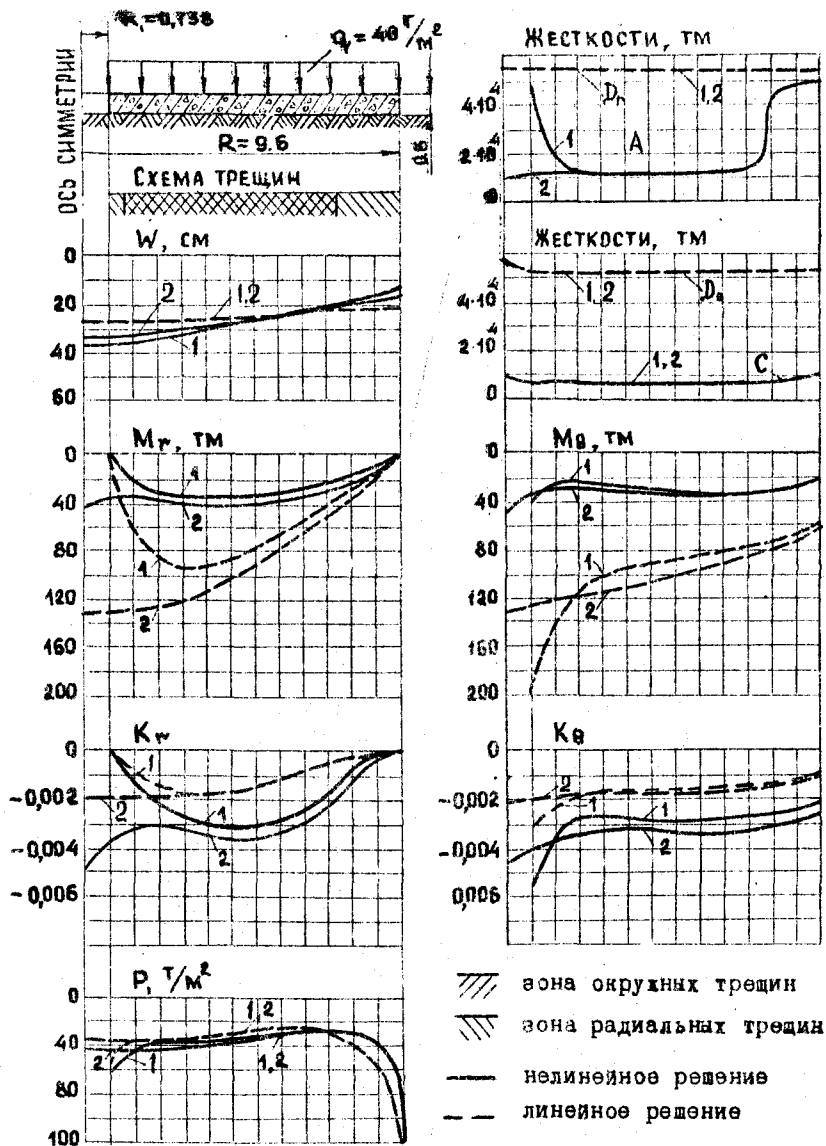


Рис. 3. Сравнение с решением В.И.Соломина и И.И.Шишова для круглых железобетонных плит:
1 - решение для кольцевой плиты, 2 - решение для сплошной плиты

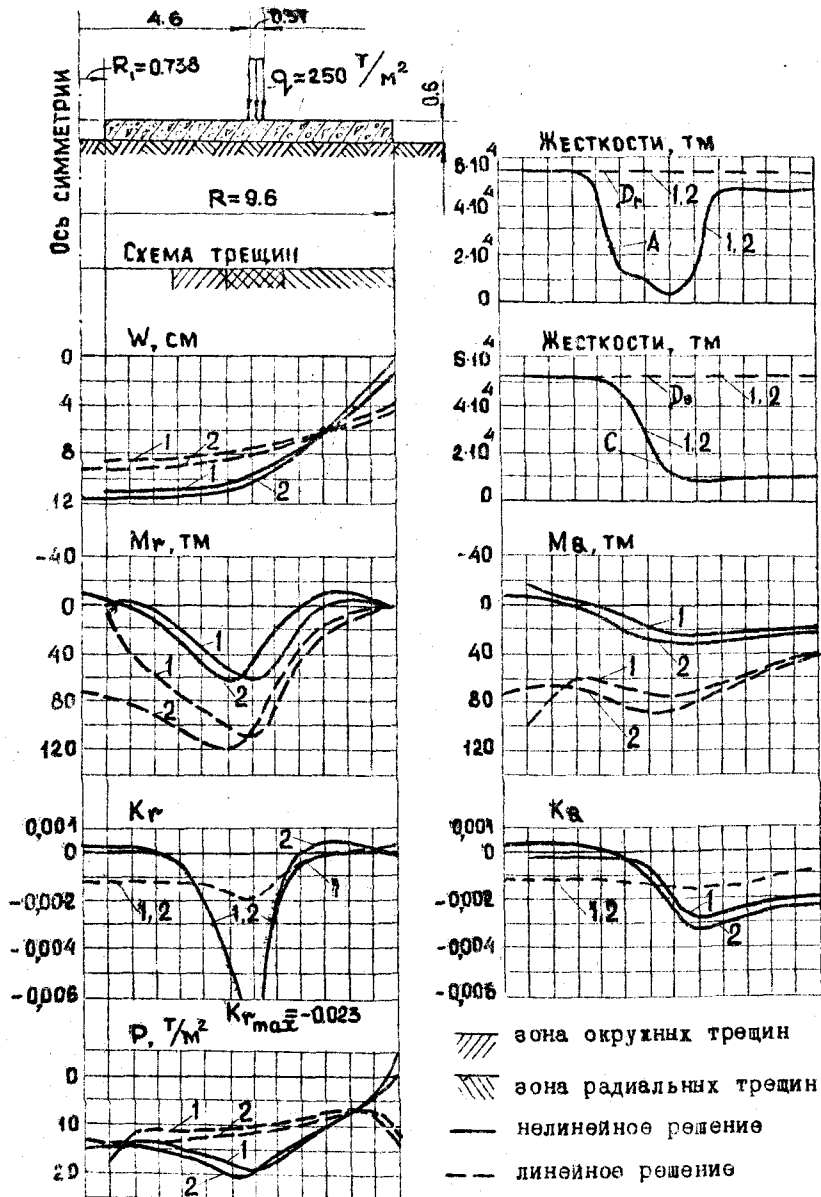


Рис. 4. Сравнение с решением З.И.Соломина и И.И.Литова
для круглых железобетонных плит:
1 - решение для кольцевой, 2 - для сплошной плиты

емкости разработанного алгоритма для расчета железобетонных кольцевых фундаментных плит.

Исследование влияния неупругих деформаций железобетона на напряженно деформированное состояние плиты производилось путем сопоставления линейного и нелинейного решений. Сравнение показало, что результаты расчетов в линейной и нелинейной постановках отличаются весьма значительно. Так, максимальные изгибающие моменты в плите при нелинейном расчете в несколько раз меньше, чем при линейном. (В примере с плитой на рис. 4 - в 3 раза), существенны различия в эпюрах реактивных давлений (давления возрастают под зоной нагрузки и убывают под краями) и осадок (распределение осадок по радиусу менее равномерно, максимальные осадки больше).

Эти различия, являющиеся следствием нелинейности деформирования железобетона, можно объяснить так. В процессе увеличения нагрузки, после образования трещин, в местах действия максимальных моментов жесткости сечений резко уменьшаются, рост моментов замедляется, кривизны и осадки начинают расти быстрее. Реактивные давления под зонами нагружения возрастают быстрее, на край - медленнее (иногда даже уменьшаются).

Существенно то, что после трещинообразования уменьшение жесткостей сечений сопровождается быстрым ростом кривизн, а вместе с ними и ширины раскрытия трещин. Сильно увеличивается деформативность плиты. Может оказаться, что ширина раскрытия трещины и деформации плиты достигнут предельного значения раньше, чем будет исчерпана несущая способность плит.

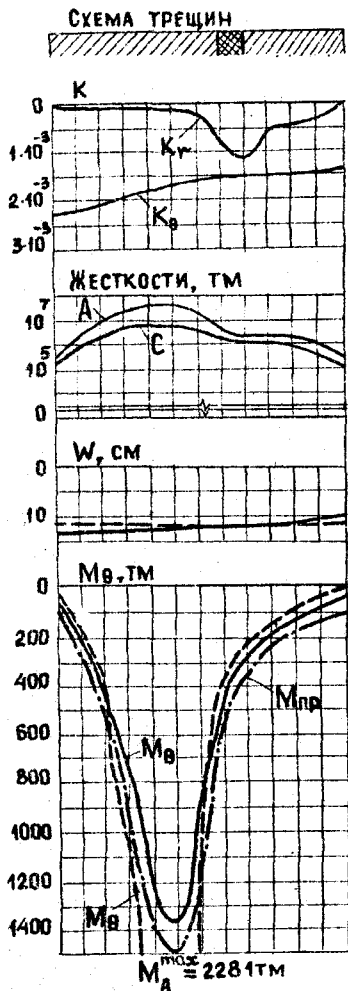
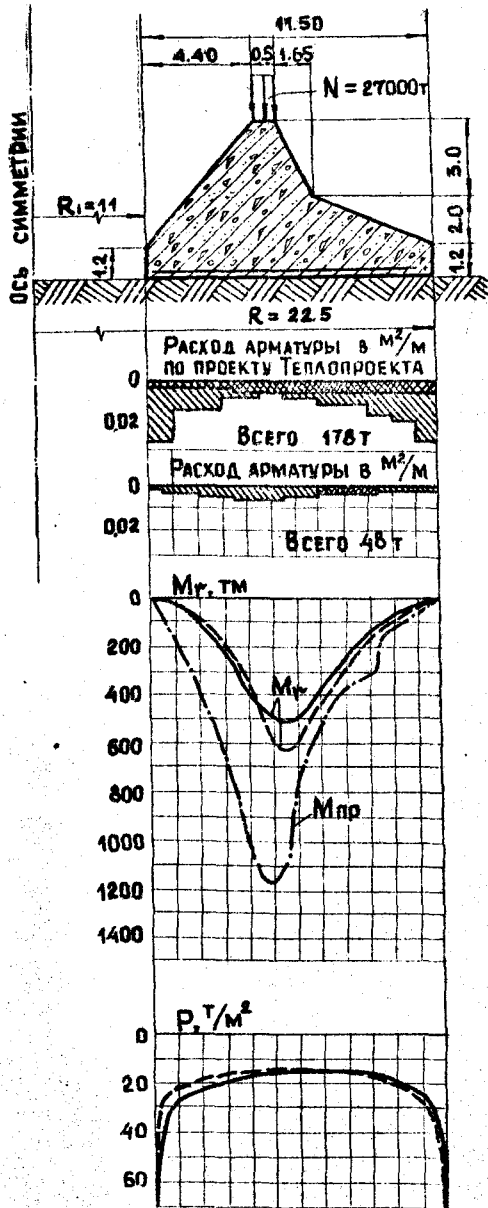
В настоящее время фундаменты дымовых труб ТЭЦ рассчитываются, как правило, только на прочность, так как в действующей "Инструкции по проектированию железобетонных дымовых труб" используется метод предельного равновесия. Этот метод не позволяет решить вопрос о распределении усилий в эксплуатационной стадии и о ра-

циональном расположении арматуры. В нелинейном решении этот вопрос весьма важен, так как напряженно деформированное состояние плиты в этом случае сильно зависит от распределения арматуры. Метод, использованный в данной работе, позволяет проследить за работой плиты на всех стадиях нагружения и с помощью вариантных расчетов подобрать рациональное расположение рабочей арматуры.

Приведены результаты расчетов кольцевых железобетонных фундаментов дымовых труб Ново-Стерлитамакской ТЭЦ и Рязанской ГРЭС (рис. 5, 6). Фундаменты были запроектированы Теплопроектом с использованием Инструкции по расчету статически неопределимых железобетонных конструкций с учетом перераспределения усилий. Выполненные расчеты фундаментов показали, что общий вес арматуры, принятый Теплопроектом по Инструкции, оказался завышенным. По нашему расчету для Ново-Стерлитамакской ТЭЦ расход арматуры оказался в 3,7 раза ниже, чем было принято Теплопроектом по упругому расчету и в 2 раза ниже, чем по Инструкции (рис. 5) Эти результаты были использованы Теплопроектом и расход арматуры в проекте был уменьшен в 2 раза. Аналогичные результаты (рис. 6) были получены и при расчете кольцевого фундамента трубы Рязанской ГРЭС. Было сделано три варианта расчетов с различными модулями упругости основания. И в этом случае расход арматуры оказался в среднем в 1,5 раза ниже запроектированного. Результаты этих расчетов также были переданы Теплопроекту.

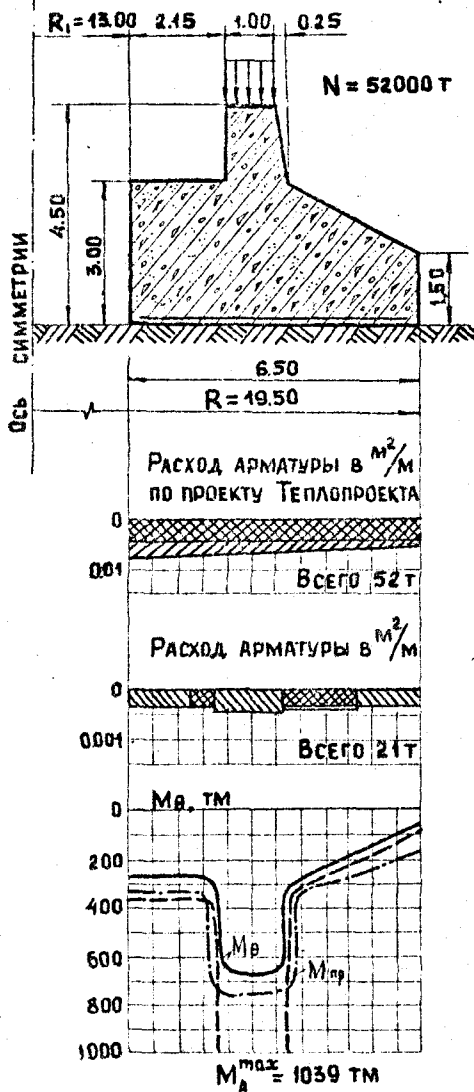
Основанные результаты работы.

1. Разработаны алгоритмы и программы расчета упругих круглых и кольцевых фундаментных плит. С помощью составленных программ проведен анализ расчетных методов с целью наиболее эффективной их реализации, а также исследования влияния параметров слоя на напряженно деформированное состояние плит.



- арматура окружная
- арматура радиальная
- зона окружных трещин
- зона радиальных трещин
- нелинейное решение
- линейное решение

Рис. 5. Результаты расчета кольцевого фундамента под дымовую трубу высотой 250 м Ново-Стерлитамакской ТЭЦ



арматура окружная
 арматура радиальная

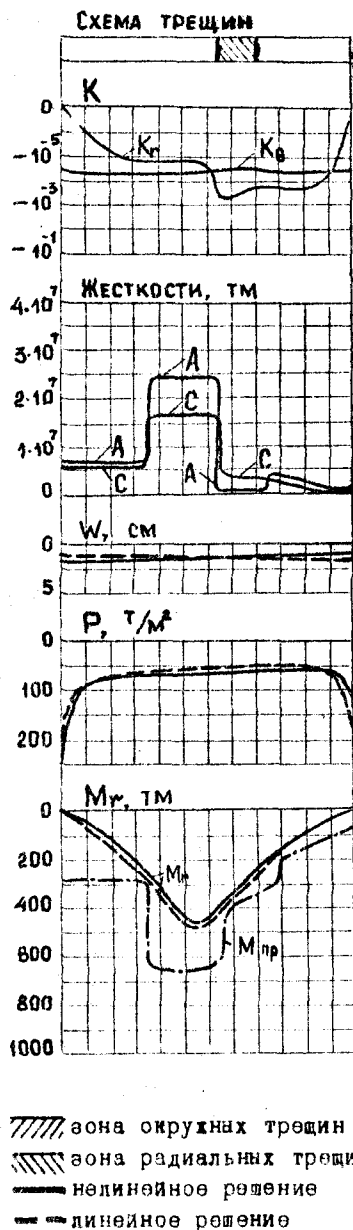


Рис. 6. Результаты расчета кольцевого фундамента под дымовую трубу высотой 320 м Рязанской ГРЭС ($\rho_s = 20000 \text{ тс/м}^3$)

2. Составлены таблицы для расчета упругих круглых и кольцевых фундаментных плит. Таблицы могут быть использованы при проектировании фундаментов, в которых нелинейность деформирования железобетона проявляется слабо (жесткие плиты, плиты без трещин, гибкие при небольших нагрузках и т.п.).

3. Разработан алгоритм и программа расчета кольцевых фундаментных плит с учетом нелинейности деформирования железобетона.

4. Исследовано влияние неупругих деформаций железобетона на напряженно-деформированное состояние кольцевых фундаментных плит.

5. Дано практическое приложение разработанных алгоритмов и программ к расчету фундаментов реальных сооружений (дымовые трубы Ново-Стерлитамакской ТЭЦ и Рязанской ГРЭС).

Выводы по работе.

1. Уточнение исходных предпосылок, параметров основания и учет особенностей деформирования железобетона оказывает существенное влияние на распределение и величину усилий, реактивных давлений и прогибов фундаментной плиты.

2. Параметры линейно-деформируемого слоя сильно скажутся на усилиях и перемещениях плиты. Причем, модуль упругости слоя в большей степени влияет на осадки и в меньшей мере на моменты в плите. Толщина слоя, наоборот, в большей степени на моменты и в меньшей на осадки. Усилия в плите при толщине слоя $\gg R$ совпадают с усилиями для полупространства. При малых слоях картина винклеровского основания не наблюдается. Величины усилий и прогибов плиты мало зависят от граничных условий на нижней плоскости слоя.

3. Нелинейные деформации железобетона существенно влияют на напряженно-деформированное состояние плиты. Происходит выравнивание изгибающих моментов в плите, реак-

тивные давления и осадки становятся существенно нерезномерны, с большими значениями под нагруженной зоной. Вместе с тем после образования трещин (скорость их раскрытия быстро возрастает, резко увеличивается деформативность плиты, что создает опасность возникновения предельного состояния по непригодности к нормальной эксплуатации).

4. При расчете кольцевых фундаментных плит с учетом нелинейности деформирования железобетона эффективным является вариационно-равностный метод в форме переменных параметров упругости. Разработанный на основе этого метода алгоритм и программа позволяют рассматривать работу плиты на любой стадии деформирования железобетона.

5. Для исключения погрешностей, вызванных дискретизацией плит, необходимо разбить радиус жесткой плиты не менее, чем на 25 участков, (у гибких плит число участков может быть меньше).

Содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

1. К расчету фундаментных балок. "Исследование по бетону и железобетону". Сб. трудов, № 46, Челябинск, 1967 (соавтор В.И.Соломин).

2. О точности решения Б.Н.Демочкина для круглых плит на упругом полупространстве. "Основания, фундаменты и механика грунтов", № 1, 1970 (соавтор В.И.Соломин).

3. Некоторые результаты исследования фундаментных конструкций и основания с помощью ЭВМ. "Основания, фундаменты и механика грунтов". Материалы III Всесоюзного совещания. Киев, 1971 (соавторы В.И.Соломин, Э.А.Комаров, В.Ф.Тутнин, В.А.Черемных, В.Н.Широков).

4. Теоретическое исследование работы круглой плиты на сжимаемом слое. Материалы III научно-технической конференции Уральского ордена Трудового Красного Знамени политехнического института им. С.М.Кирова. Секция - строительство. Свердловск, 1970 (соавтор В.И.Соломин).

5. Расчет кольцевых осесимметрично нагруженных плит, лежащих на линейно деформируемом слое. В сб. "Исследование по строительной механике и механике грунтов". Челябинск, 1973, № 113.

6. Расчет конструкций на упругом основании с помощью ЭВМ. Информационный листок № 253 (4267) Южно-Уральского меотраслевого территориального центра научно-технической информации и пропаганды, Челябинск, 1970 (соавторы В.И.Соломин, Э.А.Комаров, В.Ф.Тутнин).

7. Вопросы автоматизации расчетов в оптимальном проектировании большиеразмерных гибких фундаментов. Тезисы докладов к УП Научной конференции по применению ЭВМ в механике деформируемого твердого тела. Часть 1, Ташкент, 1975 (соавторы В.И.Соломин, М.И.Климов, И.И.Шишов).

Технический редактор А.В. Миних

ФБ 01595. Подписано к печати II/XI-75 г. Формат бумаги 60х90/16.
Объем 1,5 п.л. Отпечатано на ротапринте ЧПИ. Тираж 120 экз.
Заказ № 361/1445.