

05.23.01
П246

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ КОМИТЕТ СССР ПО НАРОДНОМУ ОБРАЗОВАНИЮ
ЧЕЛЯБИНСКИЙ ПОЛИТЕХНИЧЕСКИЙ ИНСТИТУТ
ИМЕНИ ЛЕНИНСКОГО КОМСОМОЛА

На правах рукописи

Пелипенко Андрей Иванович

**МЕТОД РАСЧЕТА И ОПТИМАЛЬНОГО ПРОЕКТИРОВАНИЯ
ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ ПЛИТ ЛЕНТОЧНЫХ ФУНДАМЕНТОВ**

05.23.01 - Строительные конструкции,
здания и сооружения

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Работа выполнена в Челябинском политехническом институте им.
Ленинского комсомола на кафедре строительной механики

Научный руководитель - Лауреат Государственной премии СССР,
доктор технических наук, профессор
Соломин В. И.

Официальные оппоненты - заслуженный строитель РСФСР,
доктор технических наук, профессор
Оатул А. А.,
кандидат технических наук, старший
научный сотрудник **Трубченков А. Д.**

Ведущая организация : проектно-конструкторско-технологиче-
ский институт ТСО "Южуралстрой"

Защита состоится 21 ноября 1990 года в 10 часов на заседа-
нии Регионального специализированного совета К 053.13.05 по при-
суждению ученой степени кандидата технических наук в Челябинском
политехническом институте по адресу: 454080, г. Челябинск, прос-
пект Ленина, 76, ауд. 244.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан 18 октября 1990 г.

Ученый секретарь Регионального
специализированного совета кан-
дидат технических наук, доцент *Г. В. Трегулов* Г. В. Трегулов

Актуальность. Стоящие перед строителями задачи обуславливают необходимость разработки новых методов расчета и создания эффективных конструкций различного назначения; внедрения в практику строительства экономических решений, обеспечивающих снижение материалоемкости зданий и сооружений, сокращение трудозатрат на заводах-изготовителях строительных деталей и конструкций.

Сборные ленточные фундаменты являются наиболее массовой конструкцией фундаментов мелкого заложения, применяемой в гражданском строительстве. Ежегодный объем их производства в стране составляет более 10 млн. м³ железобетона. Эти конструкции обладают рядом преимуществ перед другими конструктивными решениями фундаментов.

Совершенствованию конструкций ленточных фундаментов посвящены работы Е. А. Сорочана и ряда других авторов, но метод расчета конструкции самой плиты не претерпел изменений и не учитывает современных представлений о работе железобетона и грунтового основания. Конструирование опалубочных размеров, схемы армирования плит ленточных фундаментов, как правило, ведется на основе инженерной интуиции.

Таким образом, можно полагать, что совершенствование методики расчета с учетом нелинейной работы железобетона, особенностей деформирования основания, применение методов оптимального проектирования позволят уточнить напряженно-деформированное состояние фундамента, вскрыть резервы стали и бетона и автоматизировать процесс проектирования плит ленточных фундаментов.

Основная часть работы выполнена по заказу ТСО "Южуралстрой".

Цель диссертационной работы: разработать экономичные конструкции железобетонных плит ленточных фундаментов.

Задачи диссертационной работы:

- выбор физических зависимостей деформирования железобетона;
- разработка расчетной модели, алгоритма и ЭВМ-программы для расчета системы "фундамент-основание";
- теоретическое и экспериментальное исследование работы плит ленточных фундаментов;
- анализ результатов численных решений по различным моделям основания и выбор модели для практических расчетов и оптимального проектирования;
- разработка методики, алгоритма и ЭВМ - программы расчета и оптимального проектирования плит ленточных фундаментов;
- разработка экономичных конструктивных решений плит ленточных фундаментов.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- разработан алгоритм и ЭВМ-программа расчета системы "фундамент-основание" в условиях плоской задачи с учетом нелинейных деформаций материала полосы и грунтового основания;
- проведено теоретическое исследование совместной работы железобетонной полосы и грунтового основания; показано, что в эксплуатационной стадии работы плит ленточных фундаментов для практических расчетов допустимо использование Винклеровой модели основания;
- разработана методика расчета балочных конструкций на упругом основании с учетом поперечных сил, дана количественная оценка влияния деформаций сдвига на напряженно-деформированное состояние фундамента;
- проведены экспериментальные исследования работы железобетонной плиты на пружинном основании;
- обосновано использование предельных деформаций арматуры в качестве критерия первой группы предельных состояний для балочных фундаментных конструкций;
- разработан и реализован алгоритм оптимального проектирования плит ленточных фундаментов.

Практическая значимость. На основе использования уточненной методики расчета, учитывающей нелинейные деформации железобетона и особенности деформирования грунтового основания, а также применения методов оптимального проектирования, разработана полная номенклатура экономичных железобетонных плит ленточных фундаментов. Применение данной конструкции, взамен выпускаемых по действующему ГОСТ 13580-85, позволяет снизить расход бетона на 20% и арматуры на 15% в среднем по всей номенклатуре и получить экономический эффект приблизительно 1000 руб. на 100 МЗ изделий.

Реализация работы. Результаты диссертационной работы использованы при выполнении хозяйственной работы по теме: "Разработка и внедрение экономичных конструкций плит ленточных фундаментов" по заказу ТСО "Южуралстрой".

Разработаны и введены в действие технические условия (ТУ 67-07-262-89) "Плиты железобетонные экономичные ленточных фундаментов". Внедрение новой конструкции осуществляется по плану ТСО "Южуралстрой" с ожидаемым экономическим эффектом 100 тыс. руб. в год. В настоящее время к производству экономичных плит ленточных фундаментов приступили на КСММ ПСМО "Челябметаллургстрой" и на заводе ЖБК ПСМО "Челябгражданстрой", что позволило получить годовой экономический эффект в размере 30 тыс. руб.

- Публикации и доклады.** Основные положения и результаты диссертационной работы изложены в 7 печатных работах и докладывались:
- 39-42-ой научно-технических конференциях Челябинского политехнического института (1986-89 г.г.);
 - Всесоюзном научно-техническом семинаре "Системы автоматизированного проектирования фундаментов и оснований" (Челябинск, 1988г.);
 - Всесоюзной конференции "Проблемы оптимизации и надежности в строительной механике" (Вильнюс, 1988 г.);
 - 2-ой Всесоюзной конференции "Использование достижений нелинейной механики грунтов в проектировании оснований и фундаментов" (Йошкар-Ола, 1989 г.);
 - Республиканской научно-технической конференции "Совершенствование железобетонных конструкций, работающих на сложные виды деформаций, и их внедрение в строительную практику" (Полтава, 1989г.).

На задату выносятся:

- постановка и способ решения задачи о взаимодействии железобетонной балки с грунтовым основанием;
- результаты численного исследования работы плит ленточных фундаментов с грунтовым основанием;
- результаты экспериментального исследования работы плит ленточных фундаментов на основании Винклера;
- методика расчета и алгоритм оптимального проектирования плит ленточных фундаментов;
- результаты решения оптимизационной задачи и практические разработки конструктивных решений плит ленточных фундаментов.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти разделов, заключения, списка литературы (132 наименования) и приложения. Работа содержит 109 страниц машинописного текста, 36 рисунков, 2 таблицы, 43 страницы приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Состояние вопроса. В настоящее время разработаны и используются в практике строительства различные конструктивные решения железобетонных плит ленточных фундаментов. Это конструкции НИИСК Госстроя СССР, НИИОСП им. Герсеванова и МНИИТЭП, института ПНИИЭП-жилища, управления "Моспроект-1" и др. Разработаны новые конструкции и уточнены теоретические основы расчета основания прерывистых ленточных фундаментов М. И. Фидаровым. Тем не менее, остается неизменной расчетная схема: плита работает в условиях плоского напряженного состояния и рассчитывается по балочной схеме; реак-

тивное давление принимается равномерно распределенным по подошве; материал фундамента работает упруго; максимальный изгибающий момент возникает в сечении по краю цоколя, это сечение считается опасным.

Экспериментальные исследования Е. А. Сорочана и других авторов, показывают, что трещины в блоках образуются не по краям цоколя, а в их центральной части, то есть это сечение является наиболее опасным. Отмечается необходимость уточнения расчетной схемы и метода расчета плит ленточных фундаментов.

В то же время имеются предпосылки для расчета и проектирования рассматриваемой конструкции на основе более строгих методов. Разработаны и используются нелинейные модели грунтового основания, методы расчета конструкций на упругом основании с учетом специфических свойств железобетона и грунта. Этому посвящены работы Н. Х. Арутюняна, В. М. Бондаренко, А. И. Боткина, А. К. Бугрова, Е. Ф. Винокурова, С. С. Вялова, А. А. Гвоздева, М. И. Горбунова-Посадова, Ю. К. Зарецкого, С. Н. Клепикова, А. В. Коноплева, Б. Г. Коренева, А. Л. Крыжановского, С. М. Крылова, Н. С. Метелюка, Ю. Н. Мурзенко, С. А. Ривкина, И. А. Симбулиди, А. П. Синицина, В. И. Соломина, В. А. Флорина, С. Б. Шматкова и многих других авторов. Отмечается, что наиболее общим подходом является учет нелинейных свойств как материала фундамента, так и грунтового основания.

Использование оптимизационных методов позволяет уже на стадии проектирования строительных конструкций получить существенный экономический эффект. Оптимальному проектированию фундаментных конструкций посвящены работы К. Г. Бомштейна, В. Е. Быховцева, Е. Ф. Винокурова, М. И. Климова, Г. Г. Книжника, Д. Е. Польшина, А. А. Пристера, Н. Д. Сергеева, В. И. Соломина, Я. П. Фельдмана и др.

Таким образом, имеются возможности рассматривать работу фундамента с учетом специфических свойств деформирования железобетона и грунтового основания, использовать методы оптимального проектирования. Однако, все эти факторы не нашли пока еще должного отражения в практике проектирования плит ленточных фундаментов.

Физические зависимости. Для описания нелинейных свойств грунта используется деформационная теория пластичности изотропного тела в виде модели упругопластического тела предложенная А. И. Боткиным. Аппроксимация закона формоизменения составлена им в виде дробно-линейной зависимости:

$$\tau_i / \sigma_m = A \gamma_i / (B + \gamma_i), \quad (1)$$

где τ_i, γ_i - интенсивность касательных напряжений и деформаций

сдвига соответственно; σ_m - среднее напряжение; А и В постоянные параметры. Зависимость (1) при $\gamma_i \rightarrow \infty$ переходит в условие прочности Мизеса-Шлейхера-Боткина, записываемое следующим образом:

$$\tau_{ii} = A \sigma_m,$$

где τ_{ii} - интенсивность касательных напряжений в предельном состоянии.

Характерной особенностью деформирования грунтов является дилатансия - изменение объема за счет дивергентной составляющей тензора напряжений, в связи с этим объемная деформация ϵ_v разделена на два слагаемых:

$$\epsilon_v = \epsilon_c + \epsilon_d,$$

где ϵ_c - объемная деформация при всестороннем сжатии средним напряжением σ_m ; ϵ_d - дилатансия.

В общем виде определяющие уравнения, описывающие поведение грунтового массива, представлены следующим образом:

условие прочности

$$\tau_{ii} = \tau_{ii}(\sigma_m, M_\sigma); \quad (2)$$

закон изменения формы

$$\gamma_i = \gamma_i(\tau_i, \tau_{ii}); \quad (3)$$

закон изменения объема

$$\epsilon_v = \epsilon_c(\sigma_m) + \epsilon_d(\sigma_m, \tau_i, M_\epsilon). \quad (4)$$

Здесь M_σ, M_ϵ - параметры Лодэ для напряжений и деформаций.

Конкретный вид уравнений (2)-(4) принят по результатам испытаний песка в приборе трехосного сжатия, выполненных Г. М. Ломизе, А. Л. Крыжановским, В. Ф. Петряниным.

Диаграмма момент-кривизна

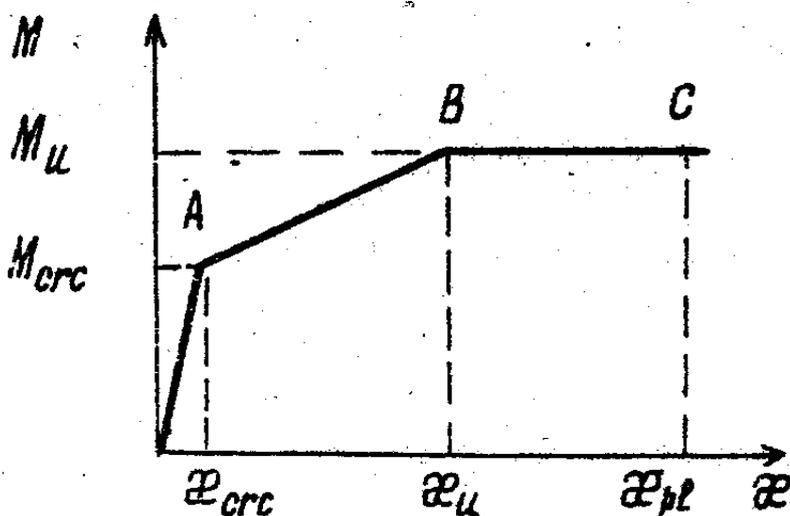


Рис. 1

Физические уравнения балки записываются в виде соотношения

между изгибающим моментом и кривизной. В работе используется упрощенная диаграмма момент-кривизна с тремя линейными участками (рис. 1), которая учитывает малоармированность рассматриваемой конструкции и находит свое обоснование в работах Л. Л. Паньшина и Л. Л. Лемьша. Характерные точки диаграммы А и В определяются согласно СНиП 2.03.01-84.

Несущая способность фундамента, в отличие от конструкций на жестких опорах, не исчерпывается с появлением пластического шарнира. Поэтому здесь вводится понятие предельного по прочности состояния элемента фундаментной конструкции. Предлагается ограничить деформации арматуры значением $\epsilon_{pl} = 1\%$, которое соответствует концу площадки текучести на диаграмме деформирования арматурной стали класса А-III. Полагая, что пределу текучести соответствуют деформации $\epsilon_{0.2} = 0.2\%$ и связь между деформациями арматуры и кривизной элемента балки находится в прямой зависимости, определяется положение точки С (рис. 1):

$$\epsilon_{pl} = K_s \epsilon_u ;$$

$$K_s = \epsilon_{pl} / \epsilon_{0.2} .$$

Основные уравнения и алгоритмы решения. Рассматривается плоская задача о взаимодействии железобетонной полосы (балки) переменной высоты с грунтовым основанием. В плоскости контакта принимается равенство вертикальных перемещений фундамента и основания, предусматривается возможность отрыва. Рассмотрено два случая условий на контакте: полное сцепление и отсутствие трения и сцепления.

Метод расчета основан на алгоритме Шварца, суть которого применительно к данной задаче заключается в следующем. Система "фундамент-основание" расчленяется на два объекта - фундаментную балку и основание, которые рассчитываются последовательно друг за другом, а выполнение требуемых условий на контакте достигается в процессе последовательных приближений.

Расчет основания выполняется в рамках известных уравнений механики сплошной среды (линейные уравнения равновесия и соотношения Коши), описывающих плоскую деформацию. Для численного решения задачи используется интегро-интерполяционный метод. Физически нелинейная задача решается методом переменных параметров упругости, когда текущие модули сдвига и объемной деформации определяются по перемещениям, найденным на предыдущей итерации.

Алгоритм Шварца при расчете балки на нелинейном основании сводится к расчету балки на упругом основании, характеризуемом

переменным по длине коэффициентом жесткости основания $K(x)$, определяемым из расчета основания. Кроме того (если учитывается сцепление), к внешней нагрузке добавляется горизонтальная составляющая реактивного давления T , приложенная в узлах балки по ее подошве. При учете физической нелинейности железобетона линеаризация задачи расчета балки осуществляется методом переменных параметров упругости путем определения секущей изгибной жесткости по зависимости, отраженной на рис. 1.

Для расчета балки используется вариационно-разностный метод, основанный на принципе минимума полной потенциальной энергии деформации системы V :

$$\partial V / \partial W_i = \partial (V_B + V_S + U) / \partial W_i = 0,$$

где V_B, V_S - потенциальная энергия деформации балки и основания соответственно; U - работа внешних сил; W - вертикальные перемещения балки.

Известно, что для жестких балочных конструкций при $l/h < 10$ неучет влияния поперечных сил на их напряженно-деформированное состояние (НДС) может приводить к существенным погрешностям. Реализация теории поперечного изгиба в вариационно-разностном методе вызывает определенные трудности, связанные со сложностью формирования функционала и увеличением количества неизвестных. Значительно проще этот вопрос решается в методе сил, что было использовано для количественной оценки влияния поперечных сил на НДС балочной конструкции. Основная система этого метода представлена в виде совокупности однопролетных шарнирно закрепленных балок на упругих опорах, нагрузка приведена к узловой, а за неизвестные приняты изгибающие моменты в сечениях над опорами.

Система канонических уравнений метода имеет вид:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \delta_{i,j} M_j + \Delta_{i,p} = 0,$$

где N - количество неизвестных; $\delta_{i,j}$ - относительный угол поворота в шарнире i , вызванный действием изгибающего момента $M_j = 1$; $\Delta_{i,p}$ - то же от заданной нагрузки. Коэффициенты при неизвестных представляют собой:

$$\delta_{i,j} = \int \frac{M_i M_j}{B_i} dx + \int M \varphi_{\text{орг}} \frac{Q_i Q_j}{G B R} dx + \theta_{i,j},$$

где M_i, M_j, Q_i, Q_j - эпюры внутренних силовых факторов от действия единичного момента соответственно в узлах i, j ; B_i - секущая изгиб-

ная жесткость балки; M - коэффициент формы при сдвиге (равный $6/5$ для прямоугольного сечения); G - модуль сдвига бетона; $\psi_{срс}$ - коэффициент, учитывающий влияние трещин на деформации сдвига, принимаемый согласно СНиП 2.03.01-84; θ_{Lj} - относительный угол поворота сечений участков балки в шарнире i от действия $M_j = 1$, связанный с осадкой упругих опор.

Исследование совместной работы плиты ленточного фундамента и грунтового основания. Для анализа влияния нелинейных свойств основания и железобетона на НДС балки приведены расчеты балки в линейной и нелинейной постановках по различным моделям основания.

Рассматривались следующие комбинации расчетных моделей:

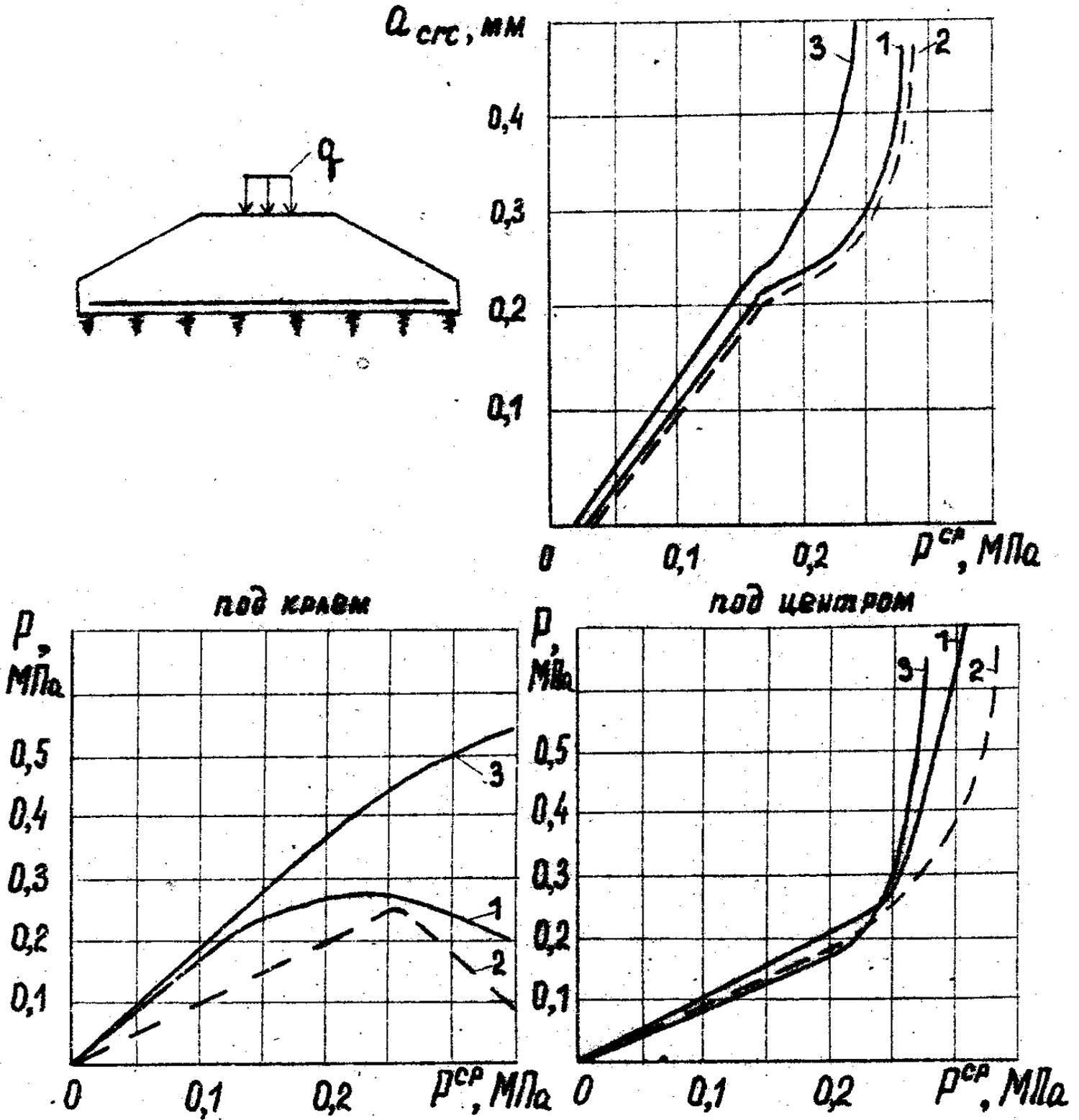
- 1) нелинейно-упругая балка, нелинейно-упругое основание;
- 2) нелинейно-упругая балка, основание Винклера;
- 3) нелинейно-упругая балка, упругое полупространство;
- 4) линейно-упругая балка, нелинейно-упругое основание;
- 5) линейно-упругая балка, основание Винклера;
- 6) линейно-упругая балка, упругое полупространство.

Для сопоставления результатов параметры линейных моделей грунта подбирались из учета равенства осадок с решением по нелинейной модели грунта. Результаты расчетов показали, что при нагрузках, соответствующих эксплуатационной стадии работы плит (среднее давление по подошве $\langle R \rangle$), определяющим является процесс трещинообразования в бетоне, который приводит к трансформации эпюры реактивных давлений от седлообразной до параболической; пластические деформации в грунте при этом незначительны. Эпюра изгибающих моментов, полученная по нелинейной модели, находится между эпюрами, полученными по моделям Винклера и упругого полупространства. Значения реактивных давлений и ширины раскрытия нормальных трещин, для нагрузки, соответствующей $\alpha_{срс} \approx 0.3$ мм, по модели Винклера и нелинейной модели практически не отличаются (рис. 2).

Численные эксперименты показали, что силы трения по подошве направлены к центру и приводят к незначительному уменьшению изгибающих моментов (приблизительно на 1-2%). Известно, что заглубление фундамента приводит к увеличению несущей способности грунта, однако, как показали расчеты, не оказывает существенного влияния на распределение реактивного давления, а, следовательно, и на НДС фундамента.

Методика расчета прогибов железобетонных конструкций в стадии эксплуатации, изложенная в СНиП, предусматривает необходимость учета сдвиговых деформаций и относится прежде всего к конструкциям на жестких опорах. В работах Л. Н. Зайцева показано, что

Значения ширины раскрытия нормальных трещин ($a_{сгс}$), реактивного давления (P) в зависимости от нагрузки (среднего давления по подошве - $P^{ср}$)



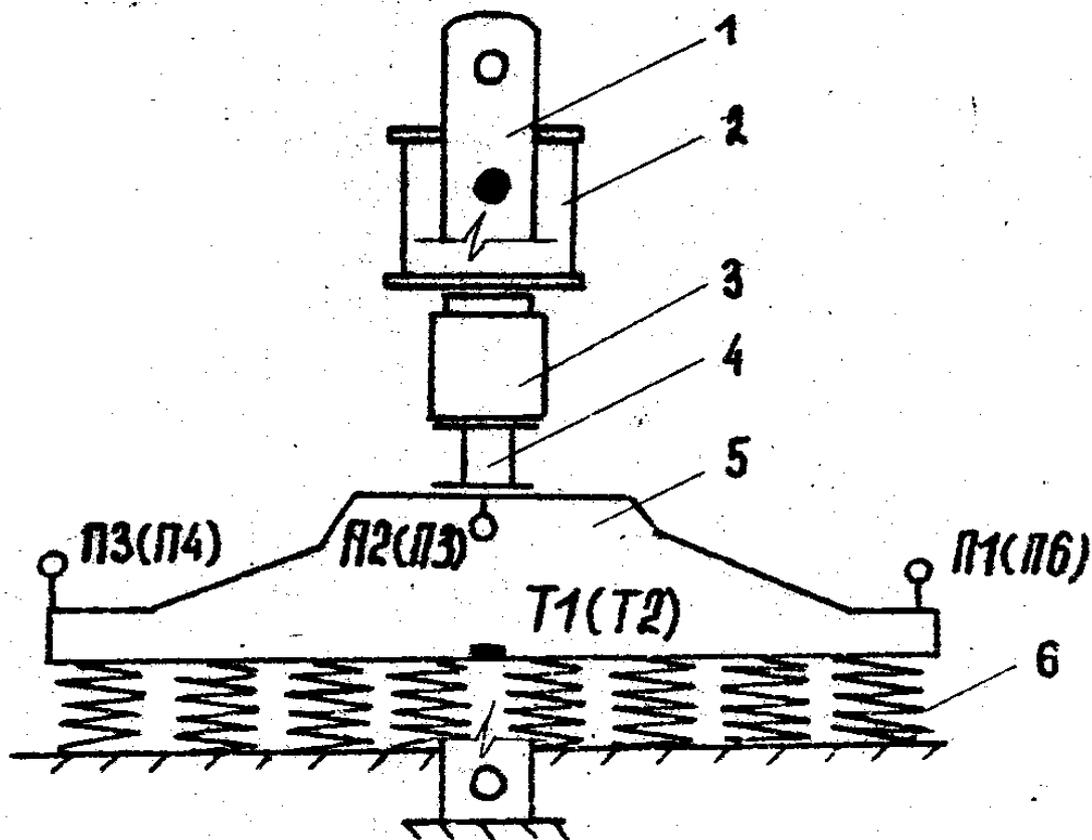
- 1 - нелинейно-упругая балка, нелинейно-упругое основание;
- 2 - нелинейно-упругая балка, основание Винклера;
- 3 - нелинейно-упругая балка, упругое полупространство.

Рис. 2

для таких конструкций учет влияния поперечных сил на прогиб может давать добавку в 30-60%. Расчеты фундаментной балки на Винклеровом основании методом сил показали, что этот фактор не оказывает существенного влияния на ее НДС. Проведенные исследования показали, что для принятых расчетных схем вариационно-разностный метод обладает лучшей сходимостью при решении нелинейной задачи по отношению к методу сил, поэтому именно он использовался в дальнейших расчетах.

С целью обоснования предлагаемой методики расчета и проверки результатов оптимального проектирования проведены экспериментальные исследования фундаментных плит на основании Винклера (см. рис. 3).

Схема испытательной установки

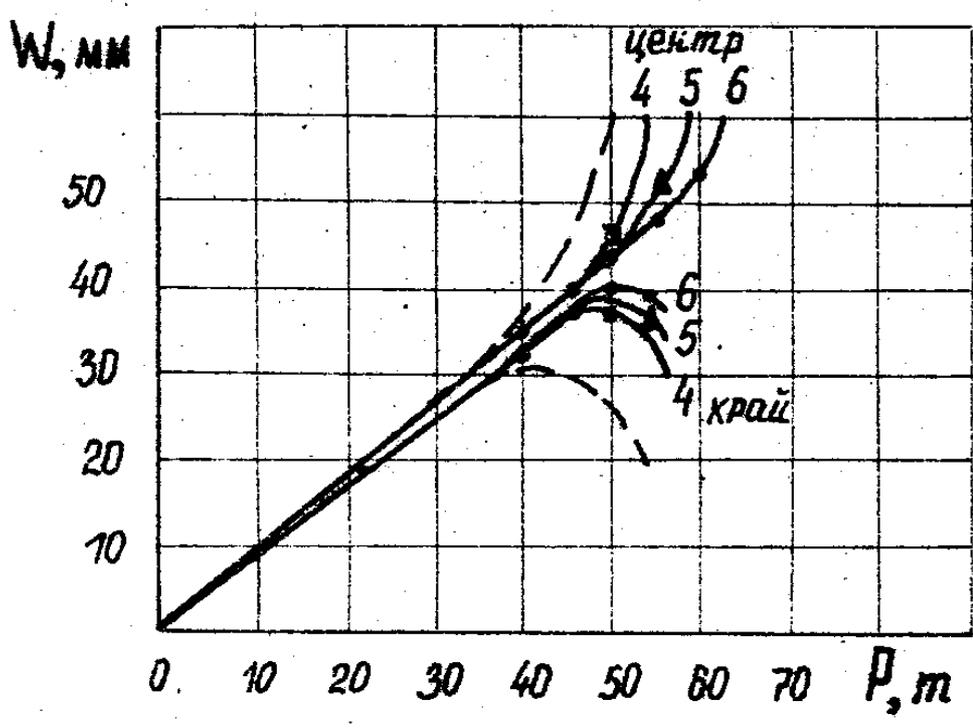
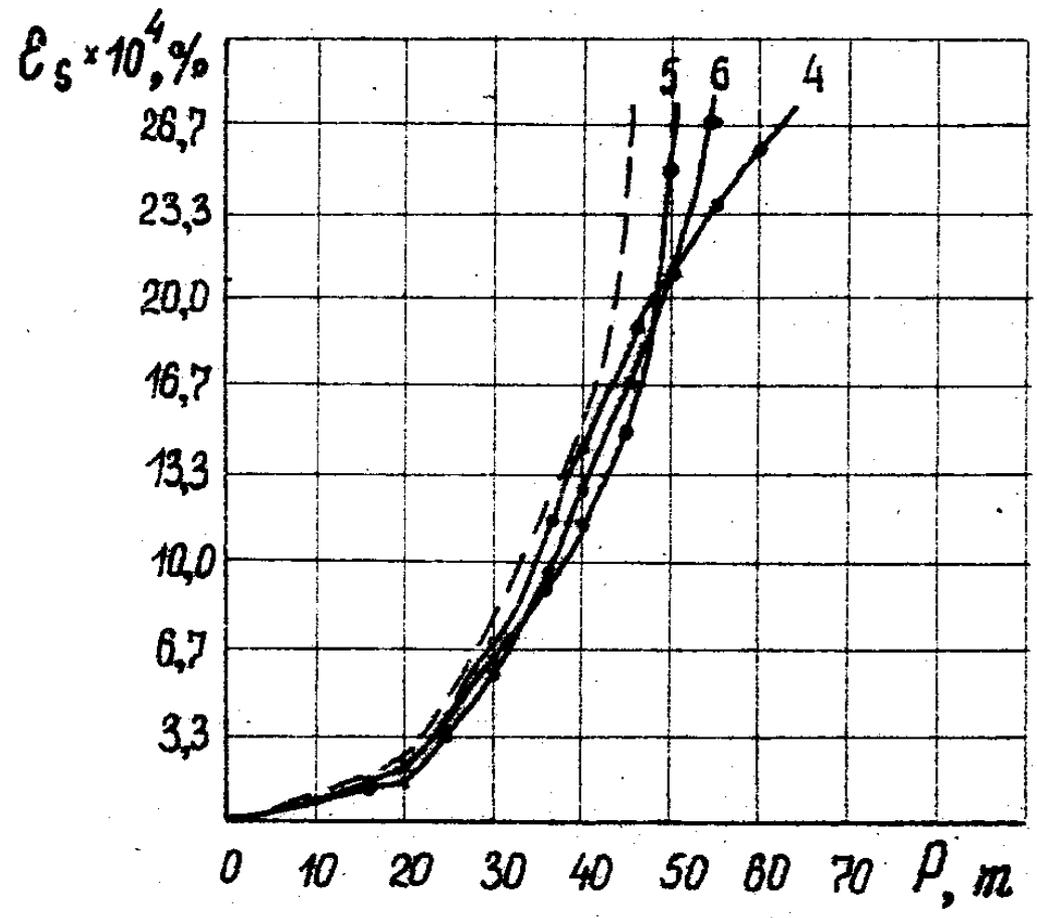


1-штанга, закрепленная в силовом полу; 2-неподвижная траверса; 3-домкрат; 4-опорная площадка; 5-испытываемый образец; 6-пружины; П1, П2, ... П6-прогибомеры; Т1, Т2-тензометры.

Рис. 3

Испытывались две серии плит шириной 2400(ГОСТ 4.6) и 1600мм(ГОСТ 6.6) из бетона класса В20 по три плиты в каждой. Длина всех образцов одинаковая и равна 600мм. Армирование осуществлялось двумя сетками, что позволило добиться шести обрывов рабочей арматуры. Схема испытательной установки изображена на рис. 3. В процессе испытаний замерялись прогибы плиты и деформации арматуры

Экспериментальные и расчетные значения деформаций арматуры (ϵ_s) и вертикальных перемещений плиты (W) в зависимости от нагрузки (P)



--- расчет;
— эксперимент (цифра соответствует номеру образца).

Рис. 4

в центральном сечении. Нагружение осуществлялось ступенями по 5 тонн до исчерпания несущей способности. Сопоставление данных эксперимента и расчета показывает удовлетворительное их соответствие (рис. 4).

Расчет и оптимальное проектирование плит ленточных фундаментов. Алгоритм оптимального проектирования основан на методе обобщенных множителей Лагранжа (ММЛ). Переменные параметры x_1, x_2, \dots, x_{10} (рис. 5) описывают очертание консолей поперечного сечения плиты и ее армирование.

Расчетная схема задачи оптимального проектирования

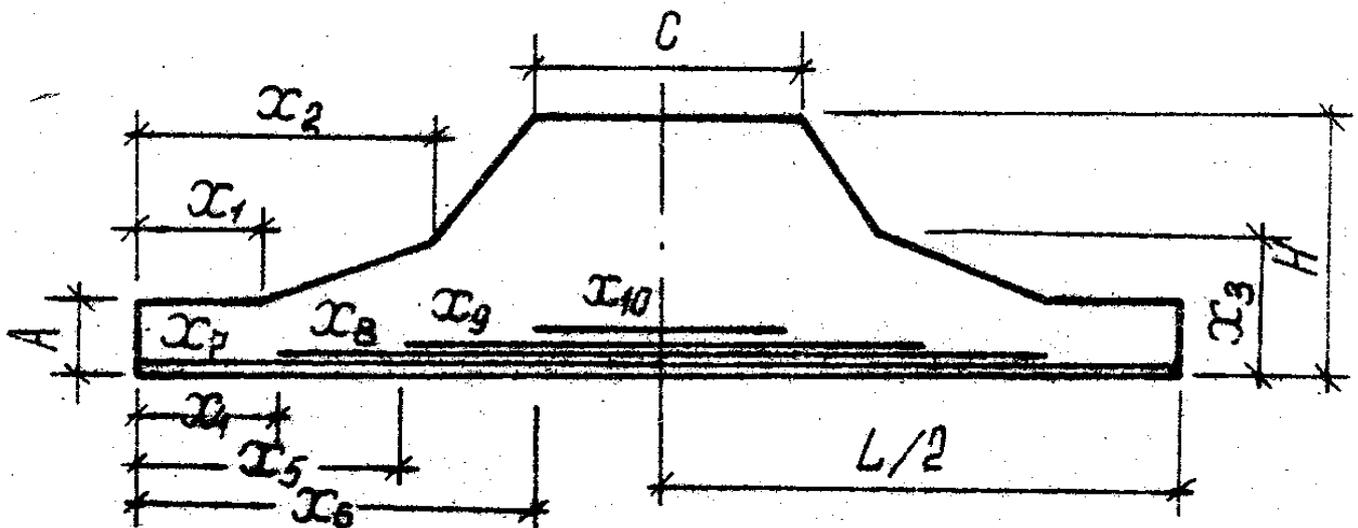


Рис. 5

В качестве целевой функции принята стоимость материала в деде:

$$C(\bar{x}) = C_b V_b(\bar{x}) + C_s V_s(\bar{x}),$$

где C_b, C_s - стоимость единицы объема бетона и арматуры; V_b, V_s - объемы бетона и арматуры. Функции ограничений записываются в виде неравенств и представляют собой требования двух групп предельных состояний.

Ограничение по прочности нормальных сечений представлено в виде:

$$\varphi_1(\bar{x}) = \varrho - K_s \varrho_u \leq 0,$$

где ϱ - кривизна элемента балки.

Ограничение по прочности наклонных сечений записывается из условия невозможности образования наклонных трещин:

$$\varphi_2(\bar{x}) = Q - Q_{b,min} \leq 0,$$

где Q - расчетная поперечная сила в сечении; $Q_{b,min}$ - минимальная поперечная сила, воспринимаемая бетонным сечением, определяется согласно СНиП.

Ко второй группе предельных состояний относится ширина раскрытия нормальных трещин:

$$\varphi_3(\bar{x}) = a_{срс} - [a_{срс}] \leq 0,$$

где $a_{срс}$ - расчетная ширина раскрытия трещин; $[a_{срс}]$ - допустимая ширина раскрытия трещин.

Реализация МОМЛ осуществляется следующими этапами:

1) выбор вектора начальных значений переменных параметров \bar{x}^0 и множителей Лагранжа $\lambda_k^0 > 0, k=1, \dots, m, m$ - количество ограничений;

2) определение минимума $\bar{x}^*(\lambda_k)$ функции Лагранжа

$$\mathcal{L}(\bar{x}) = C(\bar{x}) + \sum_{k=1}^m (\lambda_k(\bar{x}) \varphi_k(\bar{x}));$$

3) наращивание вектора \bar{x} и изменение множителей Лагранжа. Этот этап осуществляется методом локальных вариаций, когда при последовательном наращивании вектора переменных параметров производится расчет фундамента и вычисляются приращения соответствующих функций. При этом определяется коэффициент:

$$w_j = 1 + \left| \frac{\Delta \mathcal{L}}{\sum_l (\lambda_l \Delta \varphi_l)} \right|,$$

где l - индекс, присваиваемый всем невыполненным ограничениям. Из всех вычисленных на шаге вычислительной процедуры r значений w_j выбирается минимальное w . Физический смысл этого коэффициента состоит в том, что величина w указывает на такой параметр x_m , увеличение которого на данном шаге r приводит к наибольшему продвижению в сторону границы допустимой области при наименьшем возрастании функции Лагранжа. На следующем шаге ($r+1$) множители Лагранжа пересчитываются по следующей рекуррентной формуле:

$$\lambda_k^{r+1} = \begin{cases} \lambda_k^r, & \text{если } \varphi_k^r(\bar{x}) \leq 0; \\ w \lambda_k^r, & \text{если } \varphi_k^r(\bar{x}) > 0. \end{cases}$$

Вычислительный процесс продолжается до тех пор, пока l не станет равным нулю, т.е. все ограничения будут выполнены. Этот алгоритм обеспечивает продвижение в сторону границы допустимой области по рациональному пути.

Результаты решения оптимизационной задачи и конструирования сведены в сборник "Плиты железобетонные экономичные ленточных фундаментов. Технические условия". Технико-экономическое сравнение разработанной конструкции с действующим ГОСТ 13580-85 показывает, что снижается расход (в среднем по всей номенклатуре) бетона на 20%, арматуры на 15%, что составляет приблизительно 1000 рублей на 100 м³ изделий.

Основные результаты и выводы

1. Наиболее перспективным направлением является расчет фундаментов с учетом нелинейных деформаций как железобетона, так и основания. При нагрузках, соответствующих эксплуатационной стадии работы плиты ленточного фундамента ($R_{ср} < R$), наиболее существенное влияние на напряженно-деформированное состояние системы "фундамент-основание" оказывает процесс трещинообразования в бетоне, а влияние нелинейных свойств грунта незначительно.

2. Разработанные алгоритм и ЭВМ-программа расчета балочных фундаментных конструкций с учетом нелинейных свойств материала балки и грунтового основания и проведенные с их помощью теоретические исследования показали, что:

- при расчете плит ленточных фундаментов допустимо использование Винклеровой модели основания;
- влиянием сил сцепления, возникающих в области контакта фундамента с основанием, и поперечных сил в балке можно пренебречь.

3. Экспериментальные исследования работы железобетонной плиты на пружинном основании показали, что принятые расчетные предпосылки достаточно точно отражают напряженно-деформированное состояние фундаментной плиты.

4. Разработан и реализован алгоритм оптимального проектирования плит ленточных фундаментов. Его правомерность подтверждена экспериментально: характер трещинообразования говорит о равнопрочности сечений. Этот алгоритм позволяет снизить расход материалов в рассматриваемой конструкции и автоматизировать стадию проектирования.

5. Разработаны и внедрены в производство технические условия на изготовление новой конструкции железобетонных плит ленточных фундаментов, что позволило снизить расход бетона на 20% и арматуры на 15% в среднем по всей номенклатуре изделий по отношению к действующему ГОСТ 13580-85.

6. Разработанный метод расчета и оптимального проектирования позволил вскрыть резервы стали и бетона и получить экономичную конструкцию плит ленточных фундаментов.

Основные положения диссертации опубликованы в следующих работах:

1. Высоковский В. Л., Педипенко А. И. Нелинейный расчет железобетонных балок на упругом основании // Исследования по строительной механике и строительным конструкциям: Сб. трудов Чед. пол.

ин-та. - Челябинск. -1987. -С.11-14.

2. Пелипенко А. И. Учет работы железобетона с трещинами при расчете и оптимальном проектировании плит ленточных фундаментов // Системы автоматизированного проектирования фундаментов и оснований: Тезисы докладов Всесоюзного научно-технического семинара. - Челябинск. -1988. -С. 18.

3. Высоковский В. Л., Пелипенко А. И., Соломин В. И., Шматков С. Е. Алгоритмы оптимального проектирования фундаментных конструкций // Проблемы оптимизации и надежности в строительной механике: Материалы Всесоюзной конференции. - Вильнюс. -1988. -С. 27.

4. Соломин В. И., Высоковский В. Л., Пелипенко А. И. Оптимизация стоимости плит ленточных фундаментов // Основания, фундаменты и механика грунтов. -1989. -N1. -С. 2-4.

5. Пелипенко А. И. Расчет гибкой железобетонной балки на грунтовом основании с учетом нелинейных свойств материала балки и грунта // Использование достижений нелинейной механики грунтов в проектировании оснований и фундаментов: Материалы II-ой Всесоюзной конференции. - Йошкар-Ола. -1989. -С. 13.

6. Пелипенко А. И. Совершенствование конструкций железобетонных плит ленточных фундаментов на основе учета особенностей деформирования железобетона и оптимального проектирования // Совершенствование железобетонных конструкций, работающих на сложные виды деформаций, и их внедрение в строительную практику: Материалы Республиканской конференции. - Полтава. -1989. -Т. 2. -С. 124-125.

7. Высоковский В. Л., Пелипенко А. И., Лисицин В. Л. Конструирование экономичных плит ленточных фундаментов // Исследования по бетону и железобетону: Труды Чел. псл. ин-та. - Челябинск. -1989. -С. 23 - 25.

Пелипенко А. И.
05.10.90