

МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ УКРАИНЫ  
КИЕВСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ  
СТРОИТЕЛЬСТВА И АРХИТЕКТУРЫ

На правах рукописи

ВУ НГОК ЗОАНЬ

*Doank*

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ФУНДАМЕНТНОЙ СИСТЕМЫ  
"ЖЕЛЕЗОБЕТОННАЯ ПЛИТА - ГРУНТОВОЕ ОСНОВАНИЕ - СВАИ"  
ПРИ НЕЛИНЕЙНОМ ДЕФОРМИРОВАНИИ ЖЕЛЕЗОБЕТОНА  
И ОСНОВАНИЯ

Специальность 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

Киев - 1993

АВ 28.210

Диссертация является рукописью.

Работа выполнена в Киевском государственном техническом университете строительства и архитектуры.

Научный руководитель: кандидат технических наук,  
доцент Крипак В.Д.

Научный консультант: доктор архитектуры,  
доцент Соченко В.И.

Официальные оппоненты: доктор технических наук,  
ст.н.сотр. Коляков М.И.  
кандидат технических наук,  
ст.н.сотр. Максименко В.П.

Ведущая организация: НИИСК

Защита состоится "29" октября 1993 года в 13 час.  
на заседании специализированного совета К 068.05.04 при Киевском  
государственном техническом университете строительства и архитек-  
туры по адресу: 252037, Киев-37, Воздухофлотский проспект, 31;

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Киевского  
государственного технического университета строительства и архи-  
тектуры.

Автореферат разослан "8" октября 1993 года.

Ученый секретарь  
специализированного совета  
кандидат технических наук

Динкевич Ю.Л.

ЛНБ України ім.В.Стефаника



00810633 (L)

Актуальность работы. Для зданий повышенной этажности (20 этажей и более) применяют, как правило, один из двух типов фундаментов - монолитная железобетонная плита на естественном основании или свайный фундамент с ленточным или сплошным плитным ростверком. В зависимости от характера распределения нагрузок в плане здания от надземной части его и от жесткостных и прочностных параметров грунтового основания, эти фундаменты могут быть равноценными или обладать теми или иными преимуществами друг перед другом по технико-экономическим показателям и надежности в эксплуатации.

Однако в ряде случаев, как первый, так и второй тип фундаментов являются малоэффективными. Поэтому проблема поиска новых конструктивных решений фундаментов является весьма актуальной.

При больших нагрузках и относительно слабых или неравномерно сложенных по глубине основаниях эффективным является конструктивное решение в виде системы "железобетонная плита - грунтовое основание - сваи".

Определение усилий взаимодействия в этой системе и ее деформирование зависят от стадий работы железобетонной плиты, коэффициента армирования, основания, изменения жесткости свай в процессе нагружения, количества свай, их расположения в плане и являются нелинейной задачей.

Расчеты таких фундаментов должны выполняться не только в упругой, но и в неупругой стадии по методикам, описывающим все основные особенности взаимодействия железобетонной плиты, основания, свай.

Цель работы. Разработка методики расчета комплексной фундаментной системы "железобетонная плита - грунтовое основание - сваи" с учетом нелинейного деформирования железобетонной плиты, основания, свай; реализация методики в виде вычислительных программ для ЭВМ и совершенствование на их базе конструктивных решений плитных фундаментов.

Для достижения поставленной цели решены следующие основные задачи:

1. Разработана методика построения расчетной модели комплексного фундамента "железобетонная плита - грунтовое основание - сваи".
2. Построены матрицы жесткости КЭ, работающего с основанием, сваями и систем "плита - основание - сваи" с учетом трещинообра-

зования в плите, нелинейного деформирования грунтового основания, изменения жесткости свай.

3. Разработан алгоритм решения нелинейной задачи взаимодействия плиты, основания и свай.

4. Разработан эффективный способ подбора арматуры в сечениях плиты с поэтапным уточнением ее на различных стадиях расчета системы.

5. Реализована методика расчета рассматриваемой системы в виде комплексных программ на алгоритмическом языке ФОРТРАН 77 для ЭВМ.

6. Проведены численные исследования взаимодействия системы "плита - основание - сваи" при нелинейном деформировании ее элементов под действием нагрузки с поиском эффективных конструктивных форм комплексного фундамента.

Научную новизну составляют:

1. Конструктивное решение и построение расчетной модели взаимодействия фундаментной системы "плита - основание - сваи".

2. Составление матриц жесткости КЭ, работающего с основанием, сваями и системы "плита - основание - сваи", при нелинейном деформировании железобетона, основания и свай.

3. Алгоритм расчета нелинейной задачи взаимодействия железобетонной плиты, основания и свай.

4. Метод подбора арматуры в сечениях плиты по напряженным зонам.

5. Исследование влияния стадий деформирования железобетонной плиты, грунтового основания и свай, а также способов размещения свай в плане на распределение усилий в фундаментной системе.

Практическая ценность. Результаты выполненных исследований являются базой для дальнейших исследований и более рационального проектирования типов фундаментов в виде системы "железобетонная плита - грунтовое основание - сваи" с учетом всех особенностей их взаимодействия и деформирования материалов.

Разработаны методика, алгоритм, комплексная программа расчета, позволяющие решать конкретные задачи проектирования и вести поиск более эффективных решений фундаментов под большие нагрузки.

Апробация работы. Основные результаты доложены и одобрены на 5 и 6 научно-технических конференциях Ханойского института водного хозяйства в 1984, 1989 гг. и на 53-54 научно-технических конференциях КИСИ в 1992-1993 гг.

Публикации. По теме диссертации опубликовано пять статей, в которых отражено содержание выполненной работы, две - на вьетнам-

ском языке в СРВ, три - на русском языке.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, основных результатов и выводов, списка использованной литературы, приложений и содержит 103 страниц основного текста, 12 таблиц, 38 рисунков. Список использованной литературы содержит 125 наименования.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе проведен анализ существующих типов фундаментов, конструктивного решения фундаментной системы "плита - основание - сваи" и очерчена область ее применения.

Исследованию фундаментных конструкций на упругом основании посвящены работы М.И.Горбунова-Посадова, В.З.Власова, Б.Н.Жемочкина, С.Н.Клепикова, Б.Г.Коренева, В.А.Киселева, Ю.И.Мурзенко, П.Л.Пастернака, А.П.Синицына, И.А.Симзулиди, А.Н.Тетиора, С.А.Ривкина, Н.С.Метелюка и др.

Разработке программных методов расчета фундаментных плит на ЭВМ посвящены работы А.С.Городецкого, В.И.Содомина, А.С.Сахарова, В.С.Здоренко, Т.А.Маликовой, В.И.Сливкера и др.

Первые задачи о фундаментной системе "ростверк - основание - сваи" с учетом восприятия части вертикальной нагрузки основанием были решены А.И.Симзулиди. При решении этих задач предполагалось, что сваи являются несмещаемыми опорами. Экспериментальные исследования, проведенные М.С.Грутманом, В.Д.Яблочковым и др., показывают, что нагрузка от сооружения, передаваемая через свайный ростверк, может достигать 50%.

Исследования, проводимые в Киевском инженерно-строительном институте специалистами кафедры железобетонных и каменных конструкций, оснований и фундаментов (авторы Крипак В.Д., Бойко И.П.), позволили разработать и внедрить в практику строительства жилых домов новую конструктивную фундаментную систему в виде монолитной железобетонной плиты, взаимодействующей с грунтовым основанием и сваями.

При применении новой фундаментной системы "плита - основание - сваи" достигаются следующие преимущества:

- восприятие больших нагрузок;
- использование полной несущей способности материалов и основания на основе целесообразного расположения свай в плане плиты;
- изменение условий работы надземных конструкций и фундамента, работающих с основанием и сваями по выгодному направлению;

зования в плите, нелинейного деформирования грунтового основания, изменения жесткости свай.

3. Разработан алгоритм решения нелинейной задачи взаимодействия плиты, основания и свай.

4. Разработан эффективный способ подбора арматуры в сечениях плиты с поэтапным уточнением ее на различных стадиях расчета системы.

5. Реализована методика расчета рассматриваемой системы в виде комплексных программ на алгоритмическом языке ФОРТРАН 77 для ЭВМ.

6. Проведены численные исследования взаимодействия системы "плита - основание - сваи" при нелинейном деформировании ее элементов под действием нагрузки с поиском эффективных конструктивных форм комплексного фундамента.

Научную новизну составляют:

1. Конструктивное решение и построение расчетной модели взаимодействия фундаментной системы "плита - основание - сваи".

2. Составление матриц жесткости КЭ, работающего с основанием, сваями и системы "плита - основание - сваи", при нелинейном деформировании железобетона, основания и свай.

3. Алгоритм расчета нелинейной задачи взаимодействия железобетонной плиты, основания и свай.

4. Метод подбора арматуры в сечениях плиты по напряженным зонам.

5. Исследование влияния стадий деформирования железобетонной плиты, грунтового основания и свай, а также способов размещения свай в плане на распределение усилий в фундаментной системе.

Практическая ценность. Результаты выполненных исследований являются базой для дальнейших исследований и более рационального проектирования типов фундаментов в виде системы "железобетонная плита - грунтовое основание - сваи" с учетом всех особенностей их взаимодействия и деформирования материалов.

Разработаны методика, алгоритм, комплексная программа расчета, позволяющие решать конкретные задачи проектирования и вести поиск более эффективных решений фундаментов под большие нагрузки.

Апробация работы. Основные результаты доложены и одобрены на 5 и 6 научно-технических конференциях Ханойского института водного хозяйства в 1984, 1989 гг. и на 53-54 научно-технических конференциях КИСИ в 1992-1993 гг.

Публикации. По теме диссертации опубликовано пять статей, в которых отражено содержание выполненной работы, две - на вьетнам-

ском языке в СРВ, три - на русском языке.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, основных результатов и выводов, списка использованной литературы, приложений и содержит 103 страниц основного текста, 12 таблиц, 38 рисунков. Список использованной литературы содержит 125 наименования.

## ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

В первой главе проведен анализ существующих типов фундаментов, конструктивного решения фундаментной системы "плита - основание - сваи" и очерчена область ее применения.

Исследованию фундаментных конструкций на упругом основании посвящены работы М.И.Горбунова-Посадова, В.З.Власова, Б.Н.Жемочкина, С.Н.Клепикова, Б.Г.Коренева, В.А.Киселева, Ю.И.Мурзенко, П.Л.Пастернака, А.П.Синицына, И.А.Симзулиди, А.Н.Тетиора, С.А.Ривкина, Н.С.Метелька и др.

Разработке программных методов расчета фундаментных плит на ЭВМ посвящены работы А.С.Городецкого, В.И.Соломина, А.С.Сахарова, В.С.Здоренко, Т.А.Маликовой, В.И.Сливкера и др.

Первые задачи о фундаментной системе "ростверк - основание - сваи" с учетом восприятия части вертикальной нагрузки основанием были решены А.И.Симзулиди. При решении этих задач предполагалось, что сваи являются несмещаемыми опорами. Экспериментальные исследования, проведенные М.С.Грутманом, В.Д.Яблочковым и др., показывают, что нагрузка от сооружения, передаваемая через свайный ростверк, может достигать 50%.

Исследования, проводимые в Киевском инженерно-строительном институте специалистами кафедры железобетонных и каменных конструкций, оснований и фундаментов (авторы Крипак В.Д., Бойко И.П.), позволили разработать и внедрить в практику строительства жилых домов новую конструктивную фундаментную систему в виде монолитной железобетонной плиты, взаимодействующей с грунтовым основанием и сваями.

При применении новой фундаментной системы "плита - основание - сваи" достигаются следующие преимущества:

- восприятие больших нагрузок;
- использование полной несущей способности материалов и основания на основе целесообразного расположения свай в плане плиты;
- изменение условий работы надземных конструкций и фундамента, работающих с основанием и сваями по выгодному направлению;

при больших размерах плит и значительных неравномерных нагрузках -  
= 3-5 или более.

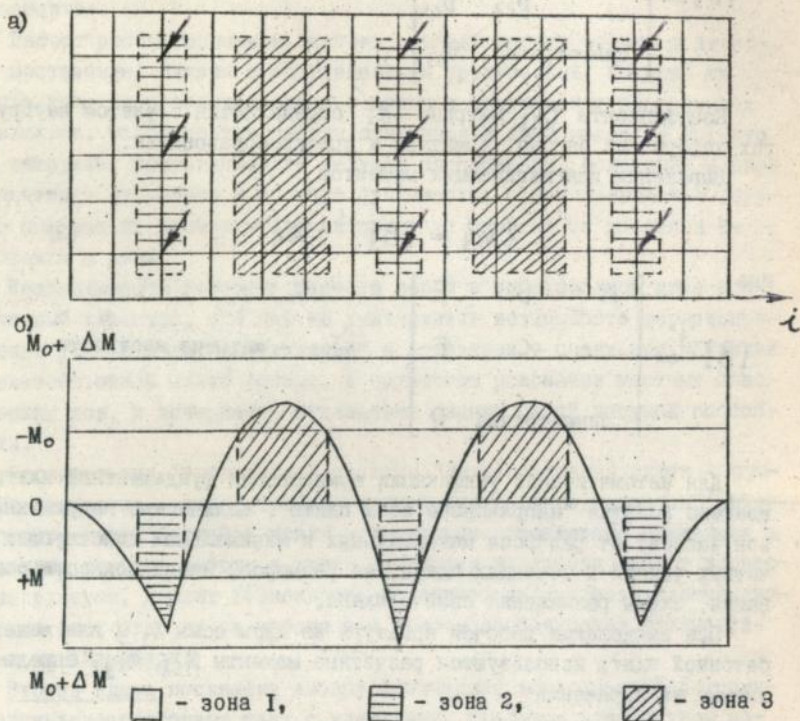


Рис. I. К определению напряженных зон  
а - схема напряженных зон в плите вдоль оси  $i$ ; б - эпюры моментов  $M_{Si}$  вдоль оси симметрии и распределения напряженных зон

Величину момента, соответствующую минимальному коэффициенту армирования рекомендуется определять по формуле

$$M_0 = M_{0min} 0,9 b h_0^2 R_s \quad (4)$$

$M_{0min}$  - минимальный коэффициент армирования для плиты, принимаемый равным 0,002.

Величины моментов  $M_{Si}$ , находящиеся в интервале от  $-M_0$  до  $M_0$ , принадлежат первой зоне.

Параметры других зон определяются приращением  $\Delta M$

$$\Delta M = \frac{M_{\max} - M_0}{0,5(m-1)} \quad (5)$$

где  $M_{\max}$  - момент, наибольший по абсолютной величине  $M_{si, \max}$ ,  $M_{si, \min}$ .

Армирование по напряженным зонам не только выполняет требования Норм по обеспечению восприятия действующих расчетных усилий в каждом сечении плиты, но и ведет к упрощению способов ее армирования, унификации арматурных изделий, разумному ограничению количества их типоразмеров, а также к ускорению итерационного процесса при нелинейных расчетах системы.

Третья глава посвящена анализу существующих линейных и нелинейных моделей основания, обоснованию принятой расчетной модели и определению ее расчетных характеристик. Принята двухпараметровая модель сжимаемого слоя конечной мощности, где коэффициенты постели на сжатие и сдвиг определяются по теории В.И.Пастернака с модификацией В.Э.Власова.

При нелинейном деформировании модуль пластичной деформации грунта определяется решением смешанной задачи упругости и пластичности с использованием коэффициента пластичности  $K_{пл}$ . Осадка основания за пределом упругости  $S_{пл}$  определяется по формуле

$$S_{пл} = K_{пл} S_y \quad (6)$$

где  $S_y$  - осадка упругого основания.

Коэффициент пластичности зависит от угла внутреннего трения грунта основания и величины

$$\chi = \frac{\bar{\mu} - R_0}{\bar{\mu}_{пр} - R_0}$$

где  $\bar{\mu}$ ,  $\bar{\mu}_{пр}$ ,  $R_0$  - соответственно среднее, предельное и расчетное давление в основании, определяемые по СНиПу 2.02.01-83.

Таким образом модуль деформации грунта основания описывается в виде

$$E = \frac{E_0}{K_{пл}} \quad (7)$$

где  $E_0$  - модуль деформации упругости грунта.

При  $\bar{\mu} \leq R_0$ ,  $K_{пл} = 1$ .

Коэффициенты постели определяются по формулам В.Э.Власова

$$C_1 = \frac{E(1-\nu_0)}{H_c(1+\nu_0)(1-2\nu_0)}; \quad C_2 = \frac{EH_c}{4(1+\nu_0)} \quad (8)$$

где  $\nu_0$  - коэффициент Пуассона грунта;

$H_c$  - толщина сжимаемого слоя конечной мощности;

В результате анализа теоретических и экспериментальных методов определения расчетных характеристик свай предлагается использовать для расчета рассматриваемой системы метод испытания свай статической нагрузкой (рис. 2). Величина предельной нагрузки определяется по графику  $S = f(P)$  из условия, что соответствующая осадка составляет некоторую долю от предельно допускаемой осадки для данного здания или сооружения

$$\Delta = \xi S \quad (9)$$

Расчетные характеристики в процессе нагружения получаются путем линеаризации кривых  $S = f(P)$  для различных грунтов (рис.3). Количество прямолинейных участков зависит от требования точности задачи.

Расчетная характеристика свай, соответствующая каждому линейному участку, имеет вид

$$C_3 = \operatorname{tg} \alpha_i \quad (10)$$

где  $\alpha_i$  - угол наклона  $i$ -ого линейного участка, относительно оси  $OS$ . Таким образом, при расчете жесткость свай считается переменной и зависит от давления на нее.

Методика расчета предполагает, что часть нагрузки воспринимается основанием, а часть сваями. Нагрузка на основание определяется из предпосылок, что максимальное давление на основание и его осадки удовлетворяют требованиям СНиП 2.02.01-83 по двум группам предельных состояний. После определения части нагрузки на основание, оставшая нагрузка воспринимается сваями. Выбор вида свай и их длины производится в зависимости от инженерно-геологических условий строительной площадки.

В четвертой главе излагается построение расчетной модели фундаментной системы "плита - основание - сваи" и алгоритм решения поставленной задачи. Методика расчета системы разработана на основе метода конечных элементов, в котором плита моделируется пластинча-

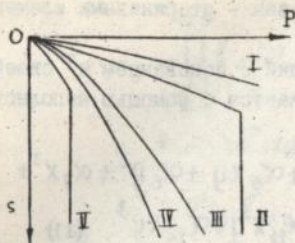


Рис. 2. Характерные кривые зависимости осадок свай от нагрузок

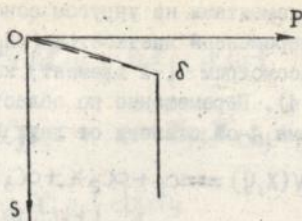


Рис. 3, а. Схема линейзации кривых II, IV

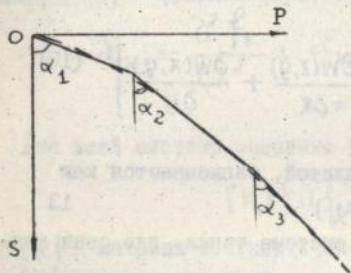


Рис. 3, б. Схема линейзации кривых III, IV

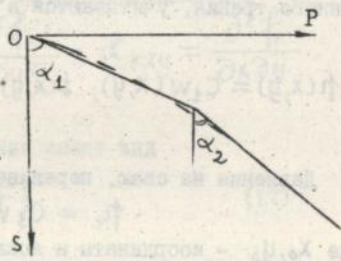


Рис. 3, в. Схема линейзации кривой I

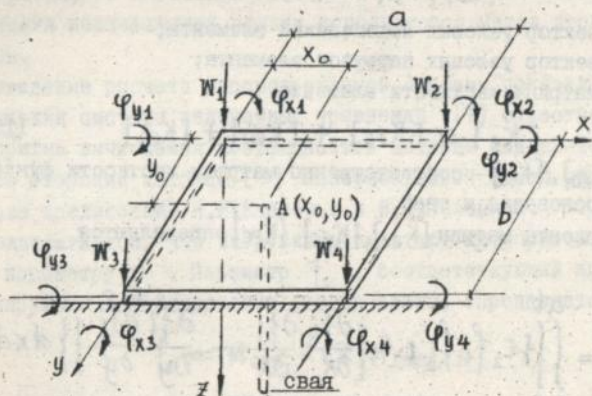


Рис. 4. Конечный элемент, работающий с основанием и сваяй

тymi элементами на упругом основании, а сваи - стержневыми элементами переменной жесткостью (рис. 4).

Рассмотрим  $i$ -й элемент, контактирующий с основанием и свайей (рис. 4). Перемещение по области КЭ выражается с помощью неполного полинома 4-ой степени от двух переменных

$$W(x, y) = \alpha_1 + \alpha_2 x + \alpha_3 y + \alpha_4 x^2 + \alpha_5 xy + \alpha_6 y^2 + \alpha_7 x^3 + \alpha_8 x^2 y + \alpha_9 xy^2 + \alpha_{10} y^3 + \alpha_{11} x^3 y + \alpha_{12} xy^3 \quad (11)$$

Давление  $p(x, y)$  на основание и сила сдвига  $t(x, y)$ , появляющиеся в сыпучих и моносвязных грунтах вследствие зацепления и внутреннего трения, учитываются в виде

$$p(x, y) = C_1 W(x, y); \quad t(x, y) = C_2 \left[ \frac{\partial W(x, y)}{\partial x} + \frac{\partial W(x, y)}{\partial y} \right] \quad (12)$$

Давление на сваю, передаваемое плитой, записывается как

$$p_c = C_3 W(x_0, y_0) \quad 13$$

где  $x_0, y_0$  - координаты в локальной системе точки, где свая контактирует с плитой.

Основные уравнения КЭ для решения рассматриваемой системы записываются в виде

$$[K_e] \{U_e\} = \{F_e\} \quad (14)$$

где  $\{U_e\}$  - вектор узловых перемещений элемента;

$\{F_e\}$  - вектор узловых нагрузок элемента;

$[K_e]$  - матрица жесткости элемента.

$$[K_e] = [K_{es}] + [K_{eo}] + [K_{ec}] \quad (15)$$

где  $[K_{es}]$ ,  $[K_{eo}]$ ,  $[K_{ec}]$  - соответственно матрицы жесткости фундаментной плиты, основания и свай.

Коэффициенты матриц  $[K_{eo}]$ ,  $[K_{es}]$ ,  $[K_{ec}]$  определяются

$$K_{eo, ij} = \int_0^a \int_0^b \left\{ C_1 f_i f_j + C_2 \left[ \frac{\partial f_i}{\partial x} \frac{\partial f_j}{\partial x} + \frac{\partial f_i}{\partial y} \frac{\partial f_j}{\partial y} \right] \right\} dx dy$$

$$K_{es,ij} = \int_0^a \int_0^b \{ A \alpha_{ix} \alpha_{jx} + C \alpha_{iy} \alpha_{jy} + B \alpha_{jx} \alpha_{iy} + \\ + 2E (\alpha_{ixy} \alpha_{jx} + \alpha_{ix} \alpha_{jxy}) + 2F (\alpha_{jy} \alpha_{ixy} + \\ + \alpha_{iy} \alpha_{jxy}) + 4D \alpha_{ixy} \alpha_{jxy} \} dx dy \\ K_{es,ij} = C_3 f_i(x_0, y_0) f_j(x_0, y_0) \quad (16)$$

где  $f_i, f_j$  - функции форм, соответствующие перемещениям и

$$\alpha_{kx} = \frac{\partial^2 f_k}{\partial x^2}; \quad \alpha_{ky} = \frac{\partial^2 f_k}{\partial y^2}; \quad \alpha_{kxy} = \frac{\partial^2 f_k}{\partial x \partial y} \\ k = i, j$$

Для всей системы основные уравнения имеют вид

$$[K]\{u\} = \{F\} \quad (17)$$

где  $[K]$  - матрица жесткости системы;

$\{u\}$  - вектор узловых перемещений системы;

$\{F\}$  - вектор узловых нагрузок системы.

Очевидно, определение матрицы  $[B]$  зависит от напряженно-деформированного состояния системы и является нелинейной задачей. Для решения поставленной задачи используется метод переменных параметров.

Проведение расчета рассматриваемой системы показало, что алгоритм решения системы нелинейных уравнений (17) существенно зависит от алгоритма вычисления коэффициентов матрицы податливости  $[B]$ . В процессе итерации матрица  $[B]$  железобетонной плиты определяется на основе предложений Н.И.Карпенко и В.И.Соломина.

Предполагается, что нагрузки возрастают пропорционально некоторому параметру  $f$ . Параметр  $f_0$ , соответствующий пределу линейно-упругого деформирования бетона плиты, определяется

$$f_0 = M_{cr} / (2 | M_{max} |) \quad (18)$$

где  $M_{cr}$  - момент трещинообразования плиты.

Первый шаг по нагрузке приводится при  $f_1 = 2 f_0$ . Приращение параметра нагружения определяется следующим образом

$$\Delta f = (1 - f_1) / (n_f - 1)$$

где  $n_f$  - принятое в расчете количество шагов нагружения.

При решении задачи для некоторой  $n$ -ой итерации  $K$ -го шага нагрузки вычисляется поле моментов  $\{M_n\}$  и прогибов  $\{u_n\}$ . Поле давлений на основание и сваи определяется через поле прогибов  $\{u_n\}$ . По этому решению анализируются условия трещинообразования в расчетных точках железобетонной плиты, деформации и напряжения в грунтовом основании и сваях и вычисляется новое поле жесткостных коэффициентов системы в зависимости от установленной стадии работы плиты, основания и свай. По новому полю жесткостей вновь определяется поле моментов  $\{M_{n+1}\}$  и прогибов  $\{u_{n+1}\}$  на следующей итерации. Если решение  $\{u_{n+1}\}$  отличается от решения  $\{u_n\}$  на величину, большую заранее заданной точности, то переходим к следующей итерации. Матрица податливости железобетонной плиты  $[B_{n+1}]$  в процессе итерации вычисляется по формуле

$$[B_{n+1}] = [B_n] + \omega ([B_{n+1}^*] - [B_n]) \quad (19)$$

где  $[B_n]$  - матрица податливости, вычисляемая по полю моментов  $\{M_n\}$ ;

$[B_{n+1}^*]$  - то же, моментов  $\{M_{n+1}\}$ ;

$\omega$  - релаксационный множитель, принят равным 0,25.

Алгоритм расчета предусматривает подбор арматуры в плите по напряженным зонам на усилия, полученные из упругого расчета плиты и уточнения армирования после окончания нелинейного расчета. После этого возможен также возврат на повторный нелинейный расчет.

На основе предложенной методики и алгоритма расчета поставленной задачи написана комплексная программа ДК на алгоритмическом языке ФОРТРАН 77.

Пятая глава посвящена оценке работоспособности комплексной программы ДК, достоверности получаемых результатов и технико-экономической оценке предложенного конструктивного решения фундамента.

Решались следующие задачи:

1. Анализ влияния схем размещения свай и их количества на усилия и деформации в фундаментной плите.
2. Анализ влияния факторов нелинейности каждого элемента и системы в целом на ее работу.
3. Определение оптимального распределения уровней реакций между основанием плиты и сваями.
4. Выбор и назначение рациональных схем армирования фундамент-

ной плиты с учетом действительного распределения в ней внутренних усилий).

При сравнении результатов линейных и нелинейных расчетов фундаментных систем по комплексной программе ДК с результатами, полученными В.И.Соломиним и С.Б.Шматковым, А.И.Симвулиди, по ВК RECON, широко известными опытами О.Графа и Г.Баха, подтверждены работоспособность и многофункциональность программы и достоверность полученных результатов.

Разработанная программа дает возможность поиска наиболее эффективного размещения свай в плане плиты, при котором усилия или деформации в плите будут наименьшими. При проектировании фундамента с варьированием расположения свай по полю плиты, возможным становится и регулирование усилий не только в фундаментах, но и в верхнем строении здания.

Для иллюстрации сказанного рассмотрим расчет фундаментной плиты при различной компоновке свайного поля фундамента (рис. 5). При этом количество свай в первых двух вариантах (рис. 5, а, 5, б) одинаково и равно 31 шт., в третьем - 24 шт. большей длины.

Величины изгибающих и крутящего моментов для некоторых точек фундаментной плиты представлены в табл. I.

Таблица I

№ варианта	Количество свай	Моменты	Величины моментов в центральной точке элемента, к <sup>г</sup> .м					
			1	2	3	4	5	6
I	31	M <sub>x</sub>	238,5	117,7	-385,0	-294,0	111,9	245,9
		M <sub>y</sub>	157,3	192,8	17,6	-19,2	199,2	258,6
		M <sub>xy</sub>	-22,5	166,5	78,7	26,5	42,2	77,7
II	31	M <sub>x</sub>	192,2	92,7	-327,4	-233,8	71,0	187,3
		M <sub>y</sub>	149,2	171,4	0,4	1,0	164,6	198,2
		M <sub>xy</sub>	5,0	195,0	66,7	4,0	7,5	146,7
III	24	M <sub>x</sub>	238,0	90,2	-260,1	-250,1	117,0	193,0
		M <sub>y</sub>	178,5	126,8	-25,7	-37,7	86,0	110,9
		M <sub>xy</sub>	91,0	103,0	18,8	27,6	-35,0	136,0

Из приведенного примера видно, что при одинаковом количестве свай, их расположение в плане может заметно изменять усилия в

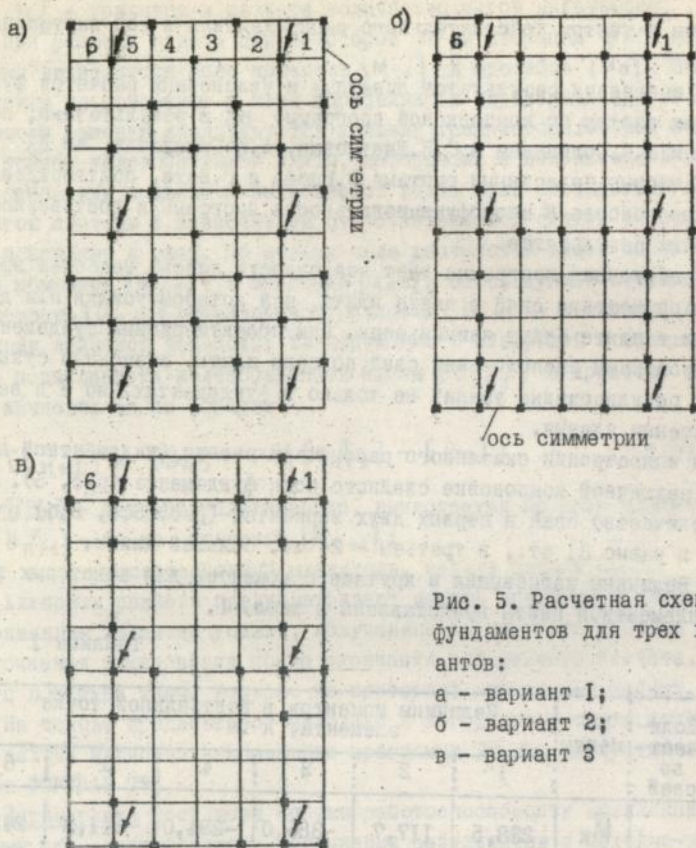


Рис. 5. Расчетная схема фундаментов для трех вариантов:

- а - вариант 1;
- б - вариант 2;
- в - вариант 3

фундаментной плите и во многих случаях при целесообразном размещении свай значительно уменьшаются материальные затраты в целом на фундамент.

Для оценки влияния нелинейных деформаций железобетона, грунта, изменения жесткостей свай на результаты расчета, рассматривались четыре возможные комбинации законов деформирования плиты, основания и свай:

1. Упругая система,
2. Упругая плита, нелинейное основание и сваи.

3. Неупругая плита, линейное основание и сваи.

4. Неупругая система.

Результаты (рис. 6) показывают, что образование и раскрытие трещин в железобетонной плите приводят к перераспределению усилий в сечениях плиты. При этом максимальный момент увеличивается в 1,93 раза. При неупругом расчете пластичные деформации железобетона, основания и сваи приводят к значительному перераспределению усилий между сечениями в плите, в сваях и давлений на основание. Максимальное перемещение основания увеличивается в 1,83 раза, а максимальное давление на сваю - в 1,37 раза. При этом происходит перераспределение максимальных величин положительных и отрицательных моментов в плите.

Таким образом, перераспределение усилий приводит к образованию новых напряженных зон армирования. Во многих случаях при значительном изменении значений расчетных усилий необходимо выполнять переармирование железобетонных плит с учетом вновь сформированных полей расчетных усилий!

## ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ И ВЫВОДЫ

1. Реализованы предложения по конструктивному решению и даны постановка и решение проблемы взаимодействия новой фундаментной системы "железобетонная плита - грунтовое основание - сваи", при упругом и неупругом деформировании железобетона, основания и сваи.

2. Выполнены анализ и подбор расчетных моделей железобетонной плиты, грунтового основания, сваи для исследования фундаментной системы.

3. Построена методика расчета фундаментной системы "железобетонная плита - грунтовое основание - сваи" на основе метода конечных элементов.

4. Построены матрицы жесткости КЭ и системы для расчета фундаментной системы "плита - основание - сваи".

5. Разработан алгоритм расчета рассматриваемой задачи, позволяющий моделировать нелинейный процесс деформирования железобетона с трещинами, основания и изменение жесткости сваи.

6. Написана комплексная программа на алгоритмическом языке ФОРТРАН 77, позволяющая вести исследование и проектирование конкретных строительных объектов.

7. Разработана версия программы, которая автоматизирует процесс подбора арматуры на различных стадиях расчета с учетом уни-

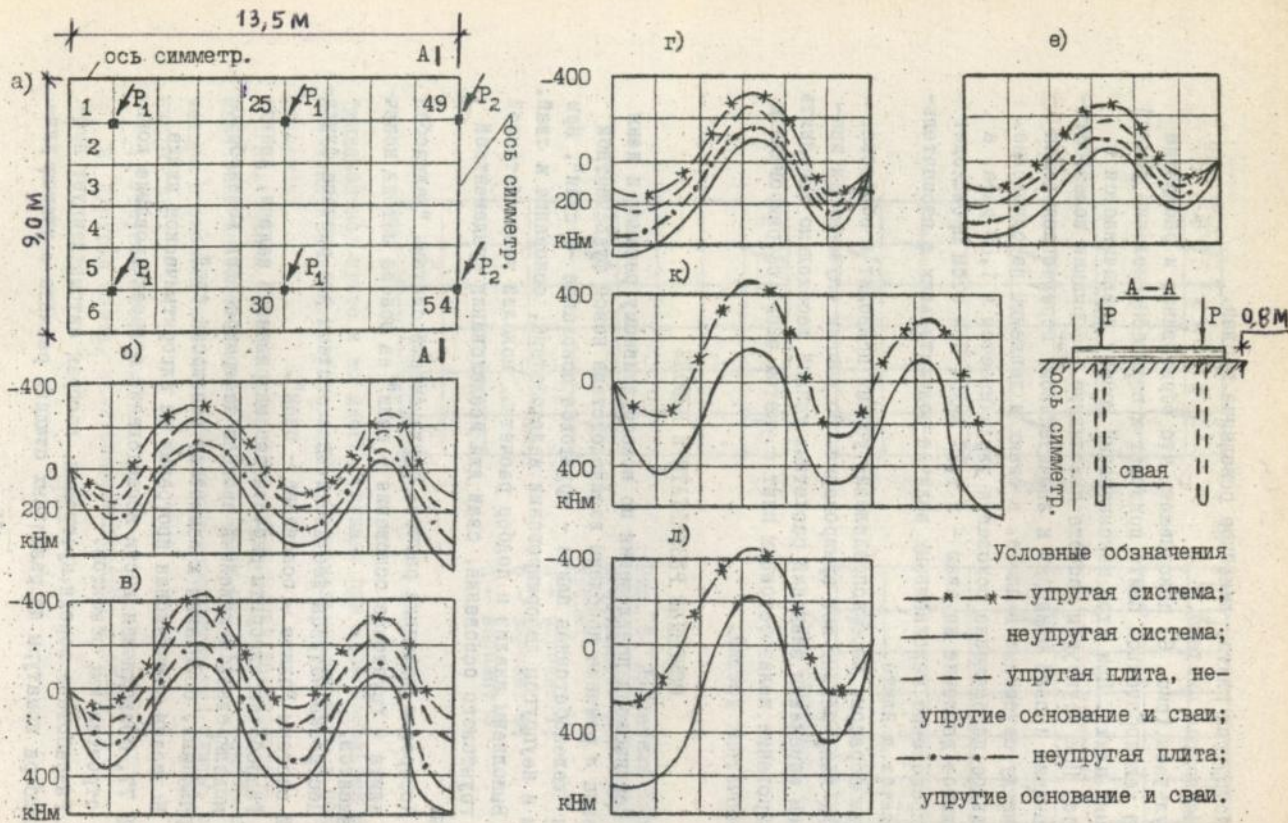


Рис. 6. Изгибающие моменты  $M_y$  вдоль осей центров тяжести элементов б - 5-53, в - 1-49;  $M_x$  - то же г - 1-6, е - 49-54; изгибающие моменты  $M_y$ ,  $M_x$  вдоль центров тяжести элементов без свай ж - 1-49, л - 1-6. при  $P_1 = 2P_2 = 3500$  кН;  $C_1 = 7500$  кН/м<sup>3</sup>;  $C_2 = 0$

фикации напряженных зон в фундаментной плите.

8. Проведены вычислительные расчеты, доказывающие работоспособность комплексной программы в научных исследованиях и практическом проектировании и подтверждена достоверность получаемых при этом результатов.

9. Численные исследования, проведенные с помощью разработанной программы, показали, что при проектировании фундаментных систем необходимо проводить поиск эффективной компоновки свай в плане плиты и учитывать влияние нелинейных свойств элементов системы на усилия взаимодействия в фундаменте.

Основные результаты диссертации опубликованы в работах:

1. Ву Нгок Зоань. К расчету железобетонных рам на упругом основании с учетом нелинейной деформации грунта основания и трещинообразования в бетоне. - В сб. докладов У-ой научной конференции Ханойского института водного хозяйства. - Ханой, 1984. - № 4. (на вьетнамском языке).

2. Ву Нгок Зоань. К расчету железобетонной плиты на упругом основании с односторонними связями. - В сб. докладов У1-ой научной конференции Ханойского института водного хозяйства. - Ханой, 1989. - № 5 (на вьетнамском языке).

3. В.Д.Крипак, Ву Нгок Зоань. Расчетная модель системы "Фундаментная плита - сваи - основание" / Тезисы докладов 53-й научно-практической конференции. - Киев: КИСИ, 1992.

4. В.Д.Крипак, Ву Нгок Зоань. К расчету системы "фундаментная плита - грунтовое основание - сваи" при нелинейном деформировании железобетона и основания // Сб. тр. КИСИ, Киев, 1993.

5. В.Д.Крипак, Ву Нгок Зоань. Нелинейная расчетная модель взаимодействия фундаментной системы "железобетонная плита - основание - сваи". - Деп. в ГРНТБ Украины, Киев, 1993, № 1071, Ук. 93.

*12/10/93*

Подл. к печ. 04.10.93.

Формат 60×84<sup>1/16</sup>.

Бумага тип. № 5 . Способ печати офсетный. Услови. печ. л. 2,93

Услови. кр.-отт. 1,16 . Уч.-изд. л. 1,0

Тираж 100 . Зак. № 5835 . Бесплатно.

Фирма «ВИПОЛ»

252151, г. Киев, ул. Волинская, 60.

AB 28.218

**AB 28.218**