ОДЕССКИЙ ИНЖЕНЕРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ ИНСТИТУТ

На правах рукописи

ГРИШИН Андрей Владимирович

УПРУГОПЛАСТИЧЕСКИЕ ЗАДАЧИ РАСЧЕТА КОРОБЧАТЫХ КОНСТРУКЦИЙ, ИМЕЮЩИХ ОБЩИЕ ОБЛАСТИ КОНТАКТА С ДЕФОРМИРУЕМЫМ ОСНОВАНИЕМ

Специальность 05.23.17 - Строительная механика

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Одесса - 1992

Работа выполнена в Одесском инженерно-строительном институте

Научный руководитель - кандидат технических наук,
доцент Щелкунов В.Г.

Официальные оппоненты - доктор технических наук,
профессор Дащенко А.Ф.

кандидат технических наук,
доцент Бугаев В.Т.

Ведущая организация - ЧерноморНИИпроект, г.Одесса

Защита состоится "3" ноября 1992 г. в 14 часов на заседании специализированного совета Д 068.41 01 в Одесском инженерно-строительном институте по адресу: 270029, г. Одесса - 29, ул. Дидрихсона, 4, ОИСИ, ауд. 210.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке института.

Автореферат разослан "29" сентября 1992 г.

Ученый секретарь
специализированного совета

Малахова Малахова Н.А.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В последние годы все большее развитие получает строительство подземных сооружений в виде коробчатых конструкций. Это приводит к необходимости более глубокого изучения и обобщения накопленных теоретических исследований и опытных данных для создания более совершенной теории совместного расчета таких конструкций и окружающей их среды.

В настоящее время существует значительное количество натурных испытаний объектов подземного строительства достигнуты большие успехи в таких науках, как строительная механика, механика грунтов, теория упругости и пластичности. Эти предпосылки создают благоприятные условия для разработки нового, более точного и вместе с тем общего метода расчета, базирующегося на использовании ЭВМ и свободного от условностей и допущений существующих приближенных методов.

В диссертационной работе предлагается методика совместного расчета коробчатых конструкций и взаимодействующего с ним основания в условиях сложного нагружения. Рассматриваемые сооружения находят широкое применение в промышленном, гражданском, транспортном и гидротехническом строительстве. Это тоннели, шлюзы, сухие доки, лотки и специальные фундаменты под различные объекты.

При строительстве подобного рода сооружений требуются большие трудовые и материальные затраты. Одним из факторов, способствующих уменьшению расходов и повышению эксплуатационной надежности и долговечности возводимых объектов, является использование более точных методов их расчета при проектировании. Известно, что многие строительные материалы, грунты и горные породы при интенсивном нагружении помимо упругих, испытывают пластические и вязкие деформации, а также в них возможно появление трещин. Как показал анализ состояния проблемы, данные факторы не всегда учитываются при расчете рассматриваемых конструкций. Поэтому, предлагаемая в диссертации методика совместного расчета коробчатых конструкций и основания на ЭВМ с одновременным учетом указанных выше свойств материалов и процесса сложного нагружения, является актуальной задачей.

Цель работы заключается в разработке методики решения плоских задач совместного расчета коробчатых конструкций, взаимодействующих с деформируемым основанием в условиях сложного нагружения. При этом учитываются упругие, пластические и вязкие свойства их материалов, кинематическое упрочнение, остаточные изменения объема от формоизменения и всестороннего растяжения-сжатия, а также трещинообразование в конструкции.

На защиту выносятся:

- общие дифференциальные уравнения в приращениях, описывающие совместное напряженно-деформированное состояние коробчатых конструкций и основания в условиях их упругопластического и упруговязкопластического деформирования с учетом трещинообразования;

- алгоритмы решения полученных уравнений и реализующая их программа на языке Фортран;

- результаты анализа условий перехода конструкции и основания в новые равновесные состояния при пластическом и вязкопластическом деформировании и сложном нагружении;

- практические предложения и рекомендации, вытекающие из полученных исследований.

Научная новизна работы заключается в следующем:

- проведено исследование совместной работы коробчатых конструкций и окружающей их деформируемой среды в условиях сложного нагружения и длительного деформирования. При этом использовалась теория пластического течения с упрочнением, базирующаяся на принципе максимума Мизеса, и теория вязкопластического течения, применялся широкий класс функций нагружения, учитывалось остаточное изменение объема материала от изменения формы и всестороннего растяжения-сжатия;

- построены проекции траекторий нагружения для характерных точек в конструкции и основании, которые оправдывают применение теории пластического течения;

- дана оценка точности и быстроты сходимости итерационных процессов, применяемых в разработанных алгоритмах.

Достоверность полученных в работе результатов обеспечивается корректной постановкой задачи, выбором строгого математического аппарата и обоснованных моделей конструкции и основания, сопоставлением результатов расчета с экспериментальными данными.

Практическая ценность работы заключается в том, что предложенный метод дает возможность исследовать напряженно-деформированное состояние совместной работы коробчатых конструкций и окружающей их среды в условиях сложного нагружения. При этом учитываются такие реальные свойства материалов, как пластичность, вязкость и наличие трещин. Метод реализован в виде программного комплекса, позволяющего автоматизировать расчет и может быть использован при проектировании надежных и экономичных сооружений, а также для оценки резерва прочности существующих конструкций.

Внедрение результатов. Предлагаемая методика расчета использовалась при проектировании фундаментов коробчатого типа под резервуары для мазута 85/1 - 6 емкостью 10000 м^3, возводимые СМУ-12 треста "Одеспромстрой".

Апробация работы. Основные положения и результаты работы докладывались на:

- Всесоюзном совещании по теории упругости неоднородного тела (г. Кишинев, 1983 г.);
- Всесоюзной конференции "Современные проблемы нелинейной механики грунтов" (г. Челябинск, 1985 г);
- третьей Всесоюзной конференции "Смешанные задачи механики деформируемого тела" (г. Харьков, 1985 г.);
- четвертой Всесоюзной конференции " Смешанные задачи механики деформируемого тела" (г. Одесса, 1989 г.);
- 49-й научной конференции профессорско-преподавательского состава Ленинградского инженерно-строительного института (г. Санкт-Петербург, 1992 г.);
- на научных конференциях профессорско-преподавательского состава Одесского инженерно-строительного института 1984 1986 г.г.

Программный комплекс, реализующий данную методику, прошел апробацию на кустовом информационно-вычислительном центре комбината "Одеспромстрой" при совместном расчете коробчатых фундаментов и оснований под различные промышленные и гражданские сооружения.

Публикации. По теме диссертации опубликовано шесть работ.

Объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, общих выводов и списка литературы. Работа изложена на 141 странице, в том числе 48 рисунков, 2 таблицы, 118 наименований в списке литературы.

Диссертация выполнена в Одесском инженерно-строительном институте в соответствии с планом госбюджетных научно-исследовательских работ на тему: "Балки и плиты на упругопластическом основании" (номер государственной регистрации 79078477).

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обосновывается актуальность темы, указана цель исследования, сформулированы основные положения, которые выносятся на защиту, приведено описание научной новизны и практической ценности работы.

В первой главе представлен анализ состояния проблемы и описана постановка задачи.

Весомый вклад в развитие исследований по контактным задачам внесли такие ученые, как: В.М.Александров, В.З.Власов, И.И.Ворович, Л.А.Галин, Г.И.Глушков, М.И.Горбунов-Посадов, А.Ф.Дащенко, К.Е.Егоров, В.Н.Жемочкин, Б.Г.Коренев, А.Н.Крылов, Н.Н.Леонтьев, М.В.Малышев, П.Л.Пастернак, Г.Я.Попов, В.Л.Рвачев, И.А.Симвулиди, А.П.Синицин, Д.Н.Соболев, М.М.Филоненко-Бородич, О.Я.Шехтер, И.Я.Штаерман и многие другие.

В последнее время значительную роль в развитии теории пластичности и вязкопластичности сыграли труды Г.А.Гениева, М.И.Ерхова, Д.Д.Ивлева, А.А.Ильюшина, А.Ю.Ишлинского, Ю.И.Кадашевича, Л.М.Качанова, В.Д.Клюшникова, Д.Коларова, В.Т.Койтера, А.А.Лебедева, В.С.Ленского, А.Надаи, В.В.Новожилова, В.Ольшака, В.Прагера, Ю.Н.Работнова, Л.И.Седова, В.В.Соколовского, Г.Хилла, Ф.Г.Ходжа, Г.Циглера, Ю.Н.Шевченко и других. Исследования этих ученых позволяют более широко использовать упруго-пластические модели различных материалов при решении контактных задач.

Как показал обзор литературы, большая часть работ по рассматриваемой проблеме была выполнена в упругой постановке. Исследований по нелинейным задачам очень мало. Есть работы по расчету данных сооружений на ЭВМ в линейной постановке, но с учетом трещинообразования. Предлагаются также алгоритмы расчета рассматриваемых конструкций в нелинейной постановке, но в рамках деформационных теорий пластичности, которые не позволяют учесть процесс сложного нагружения. И наконец, встречаются работы, в которых материал конструкции рассматривается упругим, а для описания деформируемости основания и засыпки используется модель теории пластического течения или упруговязкопластическая модель. Нет исследований в которых бы одновременно учитывалась совместная работа коробчатых конструкций и основания при сложном нагружении, а также их упругие, пластические, вязкие свойства и возможность трещинообразования.

Во второй главе определены основные уравнения рассматриваемых задач при малых деформациях. В момент времени t напряженно-деформированное состояние конструкции и основания характеризуется тензором деформации E (ε_{ls}) и тензором напряжений T (σ_{ls}). Уравнения равновесия в объеме тела ϑ и на его поверхности S имеют вид:

$$\sigma_{ls,l} + \rho K_s = 0, \quad \sigma_{ls} n_l = q_l, \quad l,s = 1,2, \tag{1}$$

а кинематические краевые условия определяются как

$$u_s^K = u_s^0 .$$

Частицы тела, находящиеся в равновесии, получают перемещение δu от действия приращений массовых δK_s и поверхностных сил δq_l. К уравнениям (1) в новом равновесном состоянии тела добавляются формулы

$$\delta\sigma_{ls,l} + \rho\delta K_s = 0, \quad \delta\sigma_{ls} n_l = \delta q_l . \tag{2}$$

Кинематические соотношения в приращениях записываются в виде:

$$\delta\varepsilon_{ls} = \frac{1}{2}(\delta u_{l,s} + \delta u_{s,l}), \tag{3}$$

$$\delta\varepsilon_{ls} = \delta\varepsilon_{ls}^0 + \delta\varepsilon_{ls}^p , \tag{4}$$

где $\delta\varepsilon_{ls}^0$, $\delta\varepsilon_{ls}^p$ – соответственно компоненты тензоров приращений обратимой и необратимой деформации.

Применительно к различным моделям тела используются следующие уравнения состояния:

- для гиперупругого тела

$$\delta\sigma_{ls} = D_{lskm}^e \delta\varepsilon_{km}^0 , \quad \delta\varepsilon_{ls}^0 = C_{lskm}^e \delta\sigma_{km} , \tag{5}$$

$D_{lskm}^e = Э_{,\varepsilon_{ls}\varepsilon_{km}}$ – компоненты тензора упругости, $Э$ – удельная потенциальная энергия деформации;

- для упругопластического тела при сложном нагружении

$$\begin{gathered}
\delta\sigma_{ls} = D_{lskm}^{ep} \delta\varepsilon_{km} , \quad \delta\varepsilon_{ls} = C_{lskm}^{ep} \delta\sigma_{km} , \\
D_{lskm}^{ep} = D_{lskm}^e , \quad C_{lskm}^{ep} = C_{lskm}^e \text{ при } f \le 0, \ \delta' f \le 0, \ \delta f \le 0, \\
C_{lskm}^{ep} = C_{lskm}^e + C_{lskm}^p \quad \text{при } f = 0, \ \delta' f > 0, \ \delta f = 0, \\
C_{lskm}^p = -f_{,\sigma_{ls}} f_{,\sigma_{km}} / (f_{,\varepsilon_{km}^p} f_{,\sigma_{km}} + A_{km}^n f_{,\chi_n^p} f_{,\sigma_{km}}) ,
\end{gathered} \tag{6}$$

f – функция нагружения, $\sigma_{km} = \sum_n \delta\sigma_{km}^{(n)}$, $\varepsilon_{km} = \sum_n \delta\varepsilon_{km}^{(n)}$,

- для упруговязкопластического тела, вязкие свойства которого проявляются только после перехода среды в пластическое состояние

$$\dot{\varepsilon}_{ls} = \dot{\varepsilon}^{o}_{ls} + \dot{\varepsilon}^{vp}_{ls}, \quad \dot{\varepsilon}^{vp}_{ls} = \gamma \langle \Phi(F) \rangle \partial F / \partial \sigma_{ls},$$

$$\langle \Phi(F) \rangle = \begin{cases} 0, & \text{если } F \leq 0, \\ \Phi(F), & \text{если } F > 0. \end{cases}$$

$$\Phi(F) = e^{M\left(\frac{F-F_0}{F_0}\right)} - 1, \quad \Phi(F) = \left(\frac{F-F_0}{F_0}\right)^{N}, \tag{7}$$

$$\delta t_i = t_{i+1} - t_i, \quad \delta \varepsilon^{vp}_{ls} = \delta t_i [(1-\Theta)(\dot{\varepsilon}^{vp}_{ls})_i + \Theta (\dot{\varepsilon}^{vp}_{ls})_{i+1}].$$

Здесь F - составляющая функции нагружения f; F_0 - обобщенное напряжение текучести; M, N - произвольные постоянные; Θ - параметр, указывающий на схему временного развития.

Для описания кинематического упрочнения материалов используется теория В.В.Новожилова и Ю.И.Кадашевича:

$$\sigma^{o}_{ls} = \sigma_{ls} - s_{ls}, \quad s_{ls} = a\,\varepsilon^{p}_{ls}, \tag{8}$$

где σ^{o}_{ls}, s_{ls} - компоненты тензора активных напряжений и тензора внутренних микронапряжений; a - параметр упрочнения.

Данная теория позволяет учесть эффект Баушингера и приводит к устойчивым процессам деформирования.

В качестве функций нагружения использовались:

- для бетона условие пластичности, предложенное Г.А.Гениевым

$$\frac{3(\sigma^{o}_{i})^2}{\sigma_c} + 3(1-\chi)\sigma^{o}\left[1-\left(1-\frac{3\sigma_k^2}{\sigma_c\sigma_p}\right)(1-\sin 3\psi^{o})\right] + \sigma_p\left(1-\frac{3\sigma_k^2}{\sigma_c\sigma_p}\right)(1-\sin 3\psi^{o}) - \sigma_p = 0; \tag{9}$$

- для железобетона условие пластичности, предложенное Г.А.Гениевым

$$3(\sigma_c - \sigma_p)\sigma^{o} + 3\sigma^{o}_{i} + \sigma_T\{[a_1(\ell_1^2 - n_1^2) + a_2(\ell_2^2 - n_2^2) + a_3(\ell_3^2 - n_3^2)]\sigma^{o}_{i}\cos\psi^{o} - [a_1(1-3m_1^2) + a_2(1-3m_2^2) + a_3(1-3m_3^2)]\frac{\sigma^{o}_{i}}{\sqrt{3}}\sin\psi^{o}\} - Д = 0; \tag{10}$$

- для железобетона с трещинами условие пластичности, предложенное Н.И Карпенко

$$|\sigma^{o}_{k\ell} - \sigma_T \mu_{(k)} \delta_{k\ell}| = 0; \tag{11}$$

- для грунтов и горных пород условие пластичности Кулона-Мора

$$(\sigma^0 - \frac{\sigma_i^0}{\sqrt{3}} \sin\psi^0)\sin\rho + \sigma_i^0 \cos\psi^0 - c\cos\rho = 0. \quad (12)$$

Здесь $\sigma^0, \sigma_i^0, \psi^0$ - инварианты тензора активных напряжений; $\chi = \sigma_p/\sigma_c$; $\sigma_p, \sigma_c, \sigma_\kappa$ - соответственно пределы пластичности при растяжении, сжатии и кручении; ρ, C - угол внутреннего трения и сцепление среды.

В рассматриваемых функциях нагружения необратимая сжимаемость среды учитывается только от изменения формы. Для определения сжимаемости от всестороннего растяжения-сжатия, аналогично работам Д.Д. Ивлева, вводится дополнительный закон течения с новой функцией нагружения.

<u>В третьей главе</u> рассматриваются методы решения полученных дифференциальных уравнений. Их дискретизация выполнена методом конечных элементов (МКЭ), реализация которого включает три этапа:

- построение дискретной модели тела;
- построение дискретной модели искомой функции;
- построение конечноэлементной модели исходных уравнений.

Разбиение области тела $\mathcal{V}$ на конечные элементы осуществляется отображением

$$x_e^N = \overset{(e)}{\Omega}{}_\Delta^N X^\Delta, \quad (13)$$

где $\overset{(e)}{\Omega}{}_\Delta^N = 1$, если узел N элемента τ_e совпадает с узлом Δ области $\mathcal{V}$, в противном случае $\overset{(e)}{\Omega}{}_L^N = 0$; x_e^N - локальные узлы в элементе τ_e; X^Δ - глобальные узлы области $\mathcal{V}$.

Дискретная модель функции перемещения в варьированном состоянии определялась соотношением

$$\delta U(x) = \sum_{e=1}^{\nu} \psi_{(e)}^N(x) \overset{(e)}{\Omega}{}_\Delta^N \delta U^\Delta = \Phi^\Delta \upsilon U^\Delta, \quad (14)$$

где ν - количество конечных элементов, на которое разбивается тело; δU^Δ - глобальное значение приращения функции в узле Δ; $\psi_{(e)}^N(x)$ - скалярнозначная функция, определенная на элементе τ_e, которая в узлах $x^M \in \tau_e$ удовлетворяет условию $\psi_{(e)}^N(x^M) = \delta_{NM}$, δ_{NM} - символ Кронекера.

Модели исходных уравнений для упругопластического конечного элемента имеют следующий вид:

$$\delta\varepsilon_{\ell s(e)} = \frac{1}{2}(\delta u_{\ell(e)}^N \psi_{(e),s}^N \quad \delta u_{s(e)}^N \psi_{(e),\ell}^N), \quad (15)$$

$$\delta \sigma_{ls(e)} = \frac{1}{2}(\delta u^N_{l(e)} \psi^N_{(e),s} + \delta u^N_{s(e)} \psi^N_{(e),l}), \qquad (16)$$

$$\delta u^M_{(e)m} K^{(\delta)NM}_{(e)lm} = \delta p^N_{(e)l}, \qquad (17)$$

где $\delta p^N_{(e)l} = \int\limits_{v(e)} \rho \delta k_l \psi^N_{(e)} dv + \int\limits_{s(e)} \delta q_l \psi^N_{(e)} ds,$

$$K^{(\delta)NM}_{(e)lm} = \int\limits_{v(e)} D^{ep(e)}_{lskm} \psi^M_{(e),k} \psi^N_{(e),s} dv.$$

В глобальной форме уравнения равновесия можно записать как

$$K^{(\delta)\Gamma\Delta}_{lm} \delta U^\Delta_m = \delta P^\Gamma_l, (l,m = 1,2; \Gamma,\Delta = 1,2,...,\nu), \qquad (18)$$

где $K^{(\delta)\Gamma\Delta}_{lm} = \sum\limits_{e=1}^{\nu} \overset{(e)}{\Omega}{}^N_\Gamma \overset{(e)}{\Omega}{}^M_\Delta \int\limits_{v(e)} D^{ep(e)}_{lskm} \psi^M_{(e),k} \psi^N_{(e),s} dv$ –
глобальная матрица жесткости, $\delta P^\Gamma_l = \sum\limits_{e=1}^{\nu} \overset{(e)}{\Omega}{}^N_\Gamma \delta p^N_{(e)l}$.

Решение задачи включает следующие этапы:

- решая (18), определяем δU^Δ;
- по формуле (14) находим функцию $\delta U(x)$, которая является решением задачи при возмущающих нагрузках δP;
- в момент времени t при нагрузке $P = \sum\limits_i \delta P^{(i)}$ определяется полное перемещение $U = \sum\limits_i \delta U^{(i)}$;
- приращения деформаций и напряжений в конечных элементах определяются по формулам (15),(16) при нагрузке δP;
- полные деформации и напряжения при нагрузке P вычисляются по формулам $\varepsilon_{ls} = \sum\limits_i \delta \varepsilon^{(i)}_{ls}$, $\sigma_{ls} = \sum\limits_i \delta \sigma^{(i)}_{ls}$.

В заключение главы приводится схематическое описание алгоритмов решения упругопластической и упруговязкопластической задач. В первом случае линеаризация осуществляется методом переменных параметров упругости, а во втором – методом упругих решений.

Условия окончания итерационных процессов и методика возвращения напряженного состояния на поверхность нагружения приняты такими же как в работах Г.М.Морозова, Г.П.Никишкова и Д.Овена.

Четвертая глава посвящена вопросам реализации рассматриваемых задач на ЭВМ. Для этой цели был разработан алгоритм и составлена программа на языке Фортран-77, которая реализована в среде операционной системы MS-DOS на персональных ЭВМ. Она обладает следующими основными возможностями:

1. Конструкция и основание могут моделироваться: упругой средой, упругопластической упрочняющейся средой, упруговязкопластиче-

ской упрочняющейся средой, упругопластической средой с трещинами. Материал конструкции и основания может быть изотропным и однородным, слоистым или неоднородным по элементам.

2. Используемые функции нагружения (9)-(12) позволяют применять в качестве материала конструкции бетон, железобетон и учитывать трещинообразование, а основания - грунты и горные породы, в которых можно учитывать необратимое изменение объема от всестороннего растяжения-сжатия и явление дилатансии.

3. Расчет можно производить с учетом собственного веса конструкции и внешних нагрузок, прикладываемых одновременно или в заданной последовательности. Допускается не только активное действие нагрузки, но и ее разгрузка.

4. Между конструкцией и основанием предполагается полное сцепление.

В данной главе приводится укрупненная схема алгоритма и подробно описываются основные этапы решения упругопластической и упруговязкопластической задач. На основании результатов расчета целого ряда тестовых примеров дается оценка точности и быстроты сходимости итерационных процессов. Установлено, если количество разбиений действующей нагрузки не превышает 20, что для большинства задач является приемлемым, то вычисления можно производить с обычной точностью. Для случая, когда нагрузка не превышает 0,7 от предельной и при погрешности по наибольшим напряжениям в пределах 2%, количество уравнений может не превышать 1000.

В пятой главе приводится фрагмент матрицы жесткости для треугольных конечных элементов, граничные условия, а также результаты расчетов ряда примеров при различных вариантах загружения. Определены пластические зоны, возникающие в конструкции и основании при различных уровнях достигнутой нагрузки, представлены эпюры осадок днища и прогибов стенки, а также эпюры напряжений в различных сечениях сооружения докового типа. Например, на рис.1 под номером 1 показаны эпюры напряжений σ_{22} в конструкции, а под номером 2 - в основании у подошвы днища. Данные результаты получены при совместном расчете камеры сухого дока или шлюза и окружающего ее основания. Дискретизация расчетной области производилась четырехугольными восьмиузловыми изопараметрическими элементами. Эпюры напряжений построены в гауссовых точках. На рисунке пунктиром показаны результаты упругопластического, а сплошной линией - упруговязкопластического расчетов.

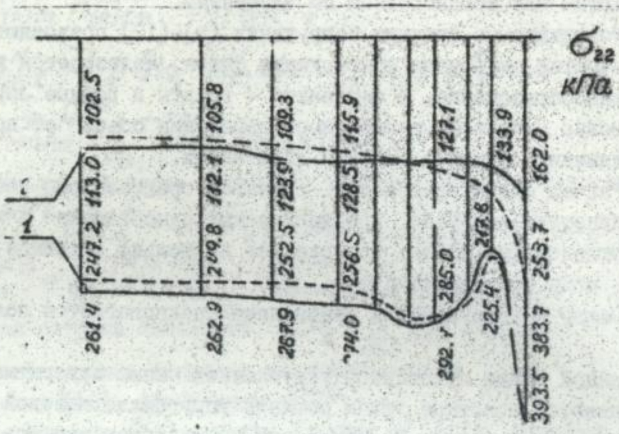

Рис. 1

По данным, полученным в приведенных примерах, дается анализ напряженно-деформированного состояния системы. Представлены результаты расчета с учетом трещинообразования для случаев загружения, когда конструкция и основание испытывают наибольшие напряжения. Построены проекции траекторий нагружения для характерных точек в конструкции и основании. Они резко отличаются от прямых линий и тем самым оправдывают применение теории пластического течения.

Для оценки достоверности полученных в диссертации результатов произведено их сравнение с экспериментальными данными напряженно-деформированного состояния верхней камеры правого шлюза Волжской ГЭС. На рис.2 показаны эпюры осадок конструкции U_2, а на рис.3 - эпюры контактных напряжений σ_{22} в подошве днища, построенные по результатам упругопластического (сплошная линия) и упруговязкопластического (пунктир) расчетов. Крестиками изображены средние значения натурных измерений за четырехлетний период наблюдений. По осадкам камеры они составляют 164 мм, а по напряжениям в подошве у наружной грани стенки - 0,26 МПа и у оси симметрии - 0,2 МПа. Как видно, опытные данные мало отличаются от расчетных, что позволяет использовать предлагаемую методику в практических целях.

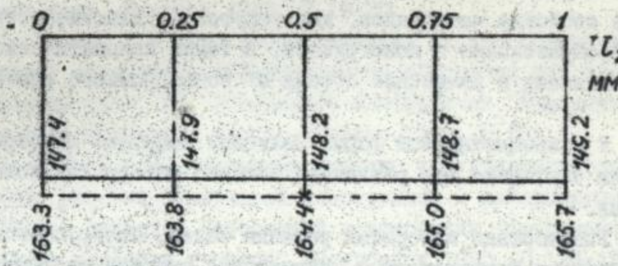
0
0.25
0.5
0.75
1
l_2
мм
147.4
147.9
148.2
148.7
149.2
163.3
163.8
164.4
165.0
165.7

Рис. 2

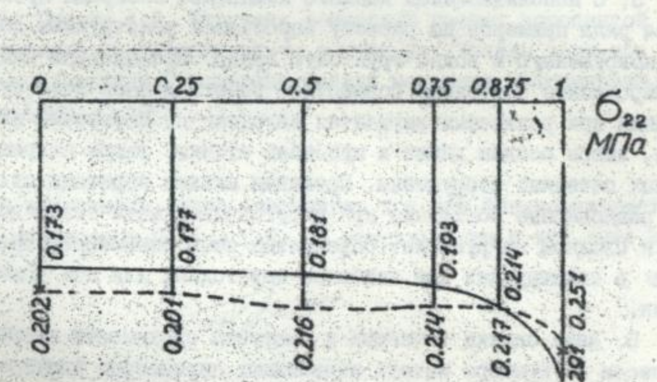
0
0.25
0.5
0.75
0.875
1
σ_{22}
МПа
0.173
0.177
0.181
0.193
0.214
0.251
0.202
0.201
0.216
0.214
0.217
0.291

Рис. 3

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ РАБОТЫ

1. Разработана методика решения плоских задач совместного расчета коробчатых конструкций, взаимодействующих с деформируемым основанием в условиях сложного нагружения. При этом учитываются такие реальные свойства материалов, как упругость, пластичность, вязкость и трещинообразование в конструкции, а также кинематическое упрочнение, дилатансия и изменение объема от всестороннего растяжения-сжатия.

2. В инкрементальной форме получены основные дифференциальные уравнения состояния для различных моделей материалов конструкции и основания.

3. Разработаны алгоритмы решения задач, базирующиеся на отыскании минимума функционала потенциальной энергии системы. Линеаризация уравнений выполняется методом переменных параметров упругости и методом упругих решений, а дискретизация - методом конечных элементов.

4. Для автоматизации расчетов составлен комплекс программ, позволяющий реализовать предлагаемую методику на ЭВМ.

5. С использованием данного комплекса программ произведено решение ряда примеров по расчету коробчатой конструкции докового типа, погруженную в водно-грунтовую среду. Исследовано напряженно-деформированное состояние совместной работы данной конструкции и основания при различных вариантах загружения. Построены пластические зоны, эпюры осадок днища и прогибов стенки, эпюры напряжений в различных сечениях сооружения. Проведен анализ перехода системы в новые равновесные состояния при упруговязкопластическом деформировании и сложном нагружении. Определены зоны возможного трещинообразования в конструкции при наиболее невыгодных для нее условиях загружения.

6. Дана оценка точности и быстроты сходимости итерационного процесса на примере метода переменных параметров упругости.

7. Построены проекции траекторий нагружения в векторном пространстве Ильюшина при последовательном приложении нагрузок для характерных точек конструкции и основания. Они резко отличаются от прямых линий, что оправдывает применение теории пластического течения.

8. Произведено сравнение полученных результатов с экспериментальными данными, которое показало их незначительные отличия.

Основные положения диссертации отражены в следующих публикациях:

1. Зюкин Ю.П., Гришин А.В. Контактная задача совместного расчета коробчатой конструкции и деформируемого неоднородного основания//Совещание по теории упругости неоднородного тела/ Краткое содержание докл.-Кишинев,1983.-С.19-20.

2. Гришин А.В. Упругопластическая задача совместного расчета коробчатой оболочки и деформируемого основания при сложном нагружении//Тезисы докл. III Всесоюзной конференции "Смешанные задачи механики деформируемого тела".-Харьков,1985.-С.90-1.

3. Гришин А.В. Численное решение упругопластической задачи совместного расчета коробчатой конструкции и деформируемого основания//Тезисы докладов Всесоюзной конференции "Современные проблемы нелинейной механики грунтов".-Челябинск,1985.-С.126-127.

4. Гришин А.В. Совместный упругопластический расчет камеры шлюза и деформируемого основания.-Одес. инж.-строит. ин-т.-Одесса, 1986.-15 с.-Деп. в УкрНИИНТИ 24.02.86, №693 - Ук 86.

5. Гришин А.В. Расчет коробчатых конструкций, лежащих на деформируемом основании.-Одес. инж.-строит. ин-т.-Одесса,1986.-9 с.-Деп. в УкрНИИНТИ 24.02.86, №694 - Ук 86.

6. Гришин А.В. Упругопластический расчет коробчатой конструкции, лежащей на деформируемом основании//Тезисы докладов IV Всесоюзной конференции "Смешанные задачи механики деформируемого тела".-Одесса.1989.-С.101.

В заключение автор благодарит доктора физико-математических наук, профессора Попова Г.Я. за консультации и внимание к работе.

Подп.к печати 24.09.82г. Формат 60х84 1/16.
Об'ем 0,5уч. изд.л. 0,75п. л. Заказ № 2483 Тираж 100 экз.
Гортипография Одесского облполиграфиздата, цех№3.
Ленина 49.

21