

На правах рукописи

УДК 627.24.001.24

АССАФ Жорж

ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПОРТОВЫХ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ СООРУЖЕНИЙ
С ГРУНТОВОЙ СРЕДОЙ С УЧЕТОМ ИХ КИНЕМАТИКИ

Специальность 05.22.19

«Эксплуатация водного транспорта»

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени

кандидата технических наук



00373716 (R)

Работа вычол

"Морские порты, водные пути

Одесского института и

Научный руководитель:

- кандидат технических наук, доцент Дубровский М. П.

Официальные оппоненты:

- доктор технических наук, профессор Ковтун В. В.

- кандидат технических наук, доцент Бугаев В. Т.

Ведущая организация: Черноморний проект

Защита состоится 21 сентября 1993 г. в 14.00 час. на заседании специализированного совета Д 101.04.02 при Одесском институте инженеров морского флота по адресу: Украина, 270029, г. Одесса, ул. Мечникова, 34., ауд. № 515-Л

С диссертацией можно ознакомиться в Библиотеке Одесского института инженеров морского флота.

Автореферат разослан "15" августа 1993 г.

Отзывы на автореферат в 2-х экземплярах, заверенные печатью, просим направлять в адрес ученого секретаря совета Д 101.04.02: Украина, г. Одесса, ул. Мечникова, 34, ОИИМФ.

ЛННБ ім. В. Стефаніка
АН України

Ученый секретарь

специализированного совета

Д 101.04.02,

кандидат техн. наук, доцент

Н. П. ДИДОРЧУК

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. К числу основных задач, решаемых водным и, в частности, морским транспортом, относятся задачи улучшения использования флота, портов и судоремонтных предприятий, организации перевозок грузов и пассажиров.

Важным фактором, влияющим на решение поставленных задач, являются эффективные научные исследования, направленные на разработку усовершенствованных методов проектирования и технической эксплуатации портовых гидротехнических сооружений (причальных, оградительных, берегозащитных и др.), которые учитывают реальные условия их работы.

Значительное количество эксплуатируемых портовых причальных сооружений (в странах СНГ более половины, в сирийских портах - три четверти от общего числа) относятся к сооружениям распорного типа (т.е. взаимодействующим с грунтами засылок и воспринимающим нагрузки от их бокового давления, которые являются основными для данного типа конструкции). Большую часть распорных сооружений (в портах СНГ старой постройки - большинство, в сирийских портах - практически все) можно отнести к гравитационным, устойчивость которых обеспечивается собственным весом, а подпорные стенки, являющиеся основным конструктивным элементом таких сооружений, выполнены весьма жесткими и малодеформируемыми. Аналогичной конструктивной особенностью обладают подпорные стенки ряда берегозащитных, оградительных (двухстенных), судоремонтных и судопропускных сооружений.

Применяемые в настоящее время методы проектирования и технической эксплуатации сооружений такого типа, которые являются объектом исследования в настоящей работе, базируются на рассмотрении только предельных состояний, не учитывают кинематических факторов, реализуемых при их эксплуатации, а известные предложения по учету таких факторов (см. раздел 1) мало приспособлены для практического использования и не достаточно надежны.

Таким образом, задача учета кинематики портовых гидротехнических сооружений, что позволит оценивать силовое взаи-

модействие компонентов системы "сооружение - грунтовая среда" не только для крайних (предельных) случаев, которые в ряде случаев эксплуатации сооружений вообще не реализуется в течение всего срока их службы, но и для возможных промежуточных напряженно-деформируемых состояний рассматриваемых систем, является актуальной.

Цель работы и задача исследования. Целью диссертационной работы являются теоретическое исследование и численное экспериментирование с системами "портовое гидротехническое сооружение-грунтовая среда", в частности, системами, включающими в качестве основного конструктивного элемента жесткую подпорную стенку и взаимодействующую с ней грунтовую засыпку.

Для достижения поставленной цели необходимо было решить следующие задачи:

1. Произвести анализ известных экспериментальных, натурных и теоретических исследований рассматриваемых систем.
2. На основе указанного анализа разработать расчетную модель взаимодействия компонентов системы "сооружение - грунтовая среда" с учетом ее кинематики и методику ее реализации, в том числе с применением ЭВМ.
3. Провести математическое моделирование конкретных инженерных задач взаимодействия портовых гидротехнических сооружений гравитационного типа с грунтовой средой на базе разработанной модели, а также сравнить результаты численного экспериментирования с опытными данными и результатами расчетов по нормативным документам.

Методы исследований. Определение параметров силового взаимодействия портовых гидротехнических сооружений рассматриваемого типа с грунтовой средой производится на основе постановки смешанной задачи. В работе применена кинематическая модель, учитывающая одновременное возникновение, взаимодействие и трансформацию зон предельного и допредельного напряженного состояния грунтовой среды, контактирующей с подпорной стенкой сооружения. В методе определения места приложения равно действующей боковой давления грунта на сооружение удается решить поставленную задачу

используя вариации функционала обобщенных перемещений контактной грани подпорной стенки не прибегая к традиционному способу построения эпюр интенсивностей бокового давления и определение их центра тяжести. Для учета "обратного" направления сил поверхностного трения грунта, взаимодействующего с контактной гранью сооружения и анализа напряженно-деформируемого состояния исследуемых систем, работающих в этих условиях, применен аппарат технической теории предельного напряженного состояния грунтовой среды.

Н а у ч н а я н о в и з н а .

1. В диссертации предложена кинематическая модель взаимодействия портовых гидротехнических сооружений, включающих жесткие подпорные стенки, с грунтовой средой (засыпкой), учитывающая смешанное напряженное состояние грунта.

2. Разработана методика определения результирующей бокового давления грунта на сооружение, а также ее предельной и допредельной составляющих как функций обобщенных перемещений сооружения для плоских и неплоских объемлющих поверхностей скольжения.

3. Разработан метод определения места приложения равнодействующей бокового давления грунта на сооружение не прибегая к построению эпюр интенсивностей давления.

4. Предложена методика моделирования условий реализации сил поверхностного трения по контактной грани сооружения при их "обратном" направлении для подпорных стенок различной крутизны.

П р а к т и ч е с к а я ц е н н о с т ь . Предложенная кинематическая модель системы "портовое сооружение - грунтовая среда" и разработанные методики ее реализации, в том числе с применением ЭВМ, позволяют обеспечить проектирование и техническую эксплуатацию гидротехнических сооружений на более высоком качественном уровне благодаря учету смешанного напряженного состояния грунта, направления сил контактного трения засыпки и взаимного влияния компонентов рассматриваемой системы. Для определения основных параметров расчетной модели не требуется проведение дополнительных нетрадиционных испытаний грунтов или сооружения. Все методики,

реализующие кинематическую расчетную модель, алгоритмизированы и для них составлены программы вычислений нагрузок от бокового давления грунта как функций деформированного состояния сооружения для IBM совместимых компьютеров. Для сооружений, работающих в условиях реализации "обратных" сил контактного трения, разработаны таблицы коэффициентов бокового давления грунта с индексацией типа подпорной стенки по крутизне. Указанные выше методики внедрены при разработке научно-исследовательских работ 13-91 "Диагностика технического состояния причалов 14-17 Туапсинского СРЗ и рекомендации по их эксплуатации", 11-91 "Паспортизация и диагностика технического состояния причалов 1-7 Керченского порта".

А п п р о б а ц и я р а б о т ы . Результаты исследований представлялись на III Международную конференцию по проблемам свайного фундаментостроения (1992г.), на конференцию профессорско-преподавательского состава Полтавского инженерно-строительного института (1992г.), на научно-технические конференции Одесского института инженеров морского флота (1992, 1993гг.), а также на международную конференцию "Нелинейная механика грунтов" (С.-Петербург, 1993г.)

П у б л и к а ц и и . По материалам диссертации опубликованы доклад на III Международной конференции по проблемам свайного фундаментостроения и тезисы доклада на конференции профессорско-преподавательского состава Полтавского инженерно-строительного института, 3 доклада на Международной конференции "Нелинейная механика грунтов", 3 статьи в журнале и сборнике трудов, депонированы две статьи в "Мортехинформрекламе".

С т р у к т у р а и о б ъ е м р а б о т ы .

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения и приложений. Работа изложена на 280 страницах машинописного текста и содержит 50 таблиц, 75 рисунков. Список использованной литературы включает 200 работ.

Н а з а щ и т у в ы н о с я т с я :

1. Результаты исследований, позволяющие определять си-

ловое взаимодействие компонентов системы "портовое гидротехническое сооружение гравитационного типа - грунтовая засыпка" при учете их кинематики.

2. Методика расчета системы "сооружение - грунтовая среда", основанная на постановке смешанной задачи, учитывающей одновременное возникновение, взаимодействие и трансформацию зон предельного и допредельного напряженного состояния грунта, а также дающая возможность определять боковое давление грунта как функцию обобщенного перемещения сооружения.

3. Методики построения прямолинейных и криволинейных эпюр бокового давления на портовое сооружение.

4. Метод определения положения равнодействующей бокового давления грунта на сооружение без построения эпюр давления.

5. Методика учета и определения нагрузок от бокового давления грунта на портовое сооружение при "обратном" направлении сил поверхностного трения грунта.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Первая глава посвящена анализу методов расчета взаимодействия портовых гидротехнических сооружений с грунтовой средой.

Рассмотрены бездеформационные теории и методы, начиная с теории Кулона, получившей развитие в работах Ж.Понселе, К.Кульмана, У.Ренкина, Г.Крея, Н.М.Герсеванова, В.Фелениуса, И.И.Прокофьева, Г.К.Клейна, П.Д.Евдокимова, Г.А.Дуброва, П.И.Яковлева, и до теории предельного напряженного состояния грунтовой среды (проанализированы основополагающие работы Ф.Кеттера, Л.Прандтля, К.В.Самсонова, В.В.Соколовского, С.С.Голушкевича и др.), получившей наиболее удачную трактовку и приемлемую для практического воплощения форму в технической теории предельного напряженного состояния П.И.Яковлева.

Проанализированы теории и методы, учитывающие деформированное состояние системы "сооружение - грунтовая среда". Рассмотрены предложения о взаимном учете смещений подпорной стенки и давления грунта на нее, сделанные Н.Н.Давиденковым, Н.Н.Пузыревским, И.В.Яропольским, В.А.Флориным, Э.Демощицким

и А.Тейхманом, Г.А.Дуброва, В.Н.Быковским, П.И.Яковлевым и др. исследователями, основанные, главным образом, на эмпирическом материале и инженерной интуиции.

Выполнен обзор контактных моделей, основанных на предложениях и разработках Н.И.Фусса, Е.Винклера, А.Н.Крылова, П.Л.Пастернака, М.М.Филоненко-Бородича, В.А.Барвашова, В.Г.Федоровского, И.Я.Штаермана, Г.К.Клейна, Л.Н.Репникова, С.Н.Клепикова и др. Отмечены особенности применения контактных моделей для описания взаимодействия вертикальных элементов (стенок) с грунтом при действии горизонтальных нагрузок.

К одним из наиболее строгих могут быть отнесены методы механики сплошной среды (работы Н.П.Пузыревского, К.Терцаги, Н.М.Герсеванова, глубокое дальнейшее развитие в трудах М.Н.Гольдштейна, М.И.Горбунова-Посадова, К.Е.Егорова, Д.В.Польшина, В.А.Флорина, Н.А.Цытовича и многих других ученых). Отмечены ограниченность области применения модели линейно деформируемой среды, основанной на аппарате классической теории упругости. Рассмотрены предложения по ее совершенствованию (О.Фрелих, П.П.Аргунов, Каротерс, С.Г.Михлин). Обращено внимание на достоинства и недостатки методов, разработанных И.И.Кандауровым, М.В.Мальшевым, Д.Д.Ивлевым, Ю.К.Зарецким, С.С.Вяловым, позволяющих учесть нелинейность грунтовой среды.

Среди моделей, наиболее хорошо отражающих физическую сущность процесса деформирования грунтов и получивших признание многих исследователей, отмечены предложения и разработки А.И.Боткина, Ф.М.Шихиева (развитые и выполненные В.Т.Бугаевым), А.К.Бугрова, В.В.Ковтуна и др.

Для широкого внедрения в инженерную практику расчетная модель должна не только приводить к результатам, близко отражающим реальную картину напряженно-деформированного состояния рассматриваемых систем, но и оперировать традиционно используемыми и повсеместно доступными для определения характеристиками и параметрами. Этим требованиям отвечает кинематический метод определения силового взаимодействия между сооружением типа подпорной стенки и грунтовой средой, теоретические основы которого заложены М.П.Дубровским. Дальнейшее развитие этого кинематического метода, придание ему универсальности, разработка математического и вычислительного ап-

парата реализации этого метода, а также апробация на модельных и реальных объектах составили основу теоретических исследований, выполненных в последующих главах.

Вторая глава посвящена изложению кинематического метода расчета взаимодействия портового гидротехнического сооружения в виде жесткой подпорной стенки, имеющей произвольно наклоненную к вертикали (угол α_0) контактную грань, с грунтовой засыпкой, дневная поверхность которой в общем случае составляет с горизонтом угол β . Расчетная модель рассматриваемой системы базируется только на двух, не противоречащих логике и физике рассматриваемого явления предположениях, которые в условиях плоской задачи сводятся к следующему.

1. Характер напряженного состояния в произвольной точке на контакте боковой поверхности сооружения с грунтом определяется отношением горизонтального смещения $u(z)$ поперечного сечения сооружения к глубине z расположения этого сечения относительно места пересечения поверхности грунта с подпорной стенкой. Тогда при $u(z)/z < \alpha$ грунт будет находиться в допредельном, а при обратном соотношении - предельном напряженном состоянии. Поскольку условия формирования предельного напряженного состояния грунта по всей контактной грани сооружения (высотой H) и по ее части (на участке высотой z) аналогичны, на основе известных экспериментальных исследований (опыты И.В.Яропольского, Г.К.Клейна, И.П.Прокофьева, Д.Тейлора, Ф.М.Шихиева, К.Терцаги, П.И.Яковлева и др.) можно принять, что при образовании активного давления $\alpha = \alpha_a = 0,001 + 0,0015z$, а при возникновении пассивного давления $\alpha = \alpha_p = 0,01 + 0,03z$.

Граница зон предельного и допредельного напряженного состояния грунта (или высота h зоны контакта грунта, находящегося в предельном состоянии, с сооружением) может быть найдена из условия

$$u(h)/h = \alpha,$$

для использования которого следует задать вид функции $u(z)$, определяемой характером деформаций сооружения (например, для жестких конструкций эта функция линейная, а при поступательных перемещениях $u = \text{const}$ и $h = u/\alpha$).

2. Углы отклонения равнодействующей реактивного

давления массива грунта позади призмы распора (или отпора) от нормали к границе этой призмы и равнодействующей бокового давления грунта от нормали к контактной грани сооружения принимаются для зоны предельного напряженного состояния высотой h соответственно равными углам внутреннего трения грунта φ и контактного трения $\delta = m \cdot \varphi$ ($0 \leq m \leq 1$), а для зоны допредельного напряженного состояния высотой $H-h$ соответственно равными φ' и δ' , причем

$$\varphi' = \varphi_0 + n(\varphi - \varphi_0); \quad \delta' = \delta_0 + n(\delta - \delta_0), \quad (I)$$

где n - параметр, зависящий от соотношения размеров зон предельного и допредельного напряженного состояния грунта ($0 \leq n \leq 1$) и определяемый отношением $n = V_e/V$ (V_e и V - соответственно объемы призм грунта, находящегося в предельном напряженном состоянии, и всего грунта, взаимодействующего с контактной гранью сооружения, определяемые из геометрических соображений в соответствии с принятой формой поверхности скольжения);

φ_0 - условный угол внутреннего трения грунта при давлении в состоянии покоя (может быть определен по известным рекомендациям);

$\delta_0 = m \cdot \varphi_0$ - условный угол контактного трения при давлении в состоянии покоя.

Расчетные зависимости для определения распорного и отпорного давления грунта определяются универсальными формулами, отличающимися в указанных случаях лишь знаками перед значениями углов φ , δ или φ' , δ' (этот принцип аналогии выявлен П.И.Яковлевым). В связи с этим, в дальнейшем при необходимости будем использовать в универсальных формулах двойные знаки "+" либо "-", подразумевая, что верхние знаки соответствуют распорному, а нижние - отпорному давлению грунта.

Общая схема получения искомого решения базируется на последовательном рассмотрении условий равновесия предельной и допредельной зон напряженного состояния грунта, взаимодействующего с сооружением для его произвольного промежуточного деформированного состояния. Для первой из них определяется не только предельная составляющая E_e бокового

давления грунта на сооружение, но и реакции со стороны нижележащей допредельной зоны, которые на втором этапе, т.е. при рассмотрении условий равновесия допредельной зоны, принимаются по отношению к ней как внешние силы, что позволяет найти и допредельную составляющую E' давления.

Результирующая бокового давления определяется из выражения

$$E = [E_e^2 + E'^2 + 2 \cdot E_e \cdot E' \cdot \cos(\delta_e - \delta')]^{1/2} \quad (2)$$

здесь и далее все параметры, относящиеся к предельному состоянию грунта снабжены индексом "е", а характеризующие допредельное состояние - обозначены штрихом.

Характерные зависимости бокового давления грунта (распорного и отпорного) от обобщенных перемещений сооружения, получаемые в результате применения разработанного кинематического метода, приведены на рис.1, а.

При решении задачи, основанной на гипотезе о плоских поверхностях скольжения, получено (рис.1, б, в):

$$E_e = G_e \cdot \sin(\theta_e \mp \varphi_e) / \cos(\alpha_o \pm \delta_e \pm \varphi_e - \theta_e);$$

$$E' = S \cdot \sin(\theta' \mp \varphi' - \eta) / \cos(\alpha_o \pm \delta' \pm \varphi' - \theta'),$$

где $S = [R_e^2 + G'^2 + 2 \cdot R_e \cdot G' \cdot \cos(\varphi_e \mp \theta_e)]^{1/2};$

$$R_e = G_e \cdot \cos(\alpha_o \pm \delta_e) / \cos(\alpha_o \pm \delta_e \pm \varphi_e - \theta_e).$$

При неплоских поверхностях скольжения для крутой контактной грани сооружения и наличии всех трех областей напряженного состояния грунта из условия равновесия предельной зоны засыпки (рис.1, г) получено

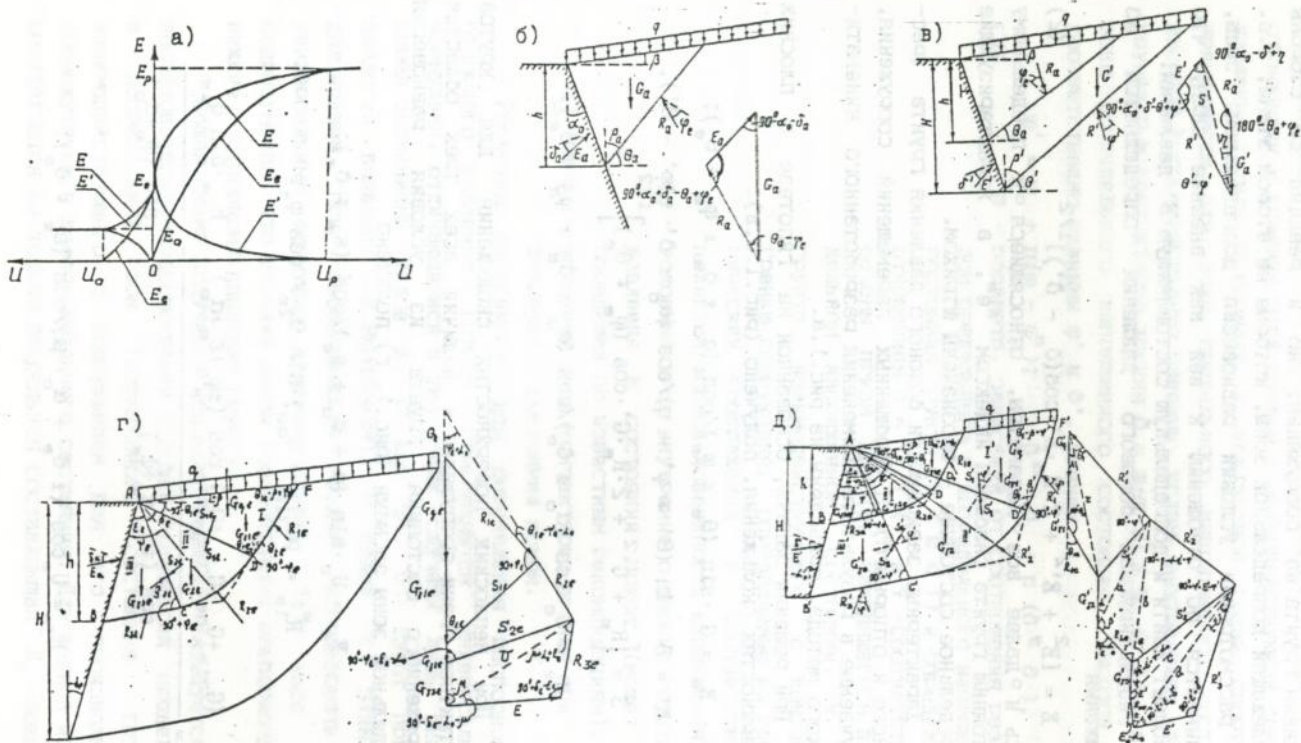
$$E_e = U_e \cdot \sin(\mu + \alpha_o + \varepsilon_e) / \cos(\varepsilon_e \mp \delta_e);$$

$$R_{1e} = (G_{\gamma 1e} + G_{qe}) \cdot \sin \theta_{2e} / \cos \varphi_e;$$

$$R_{2e} = \frac{(G_{\gamma 1e} + G_{qe} + G_{\gamma 2e} + Q_e) \cos(\pm \varphi_e + \varepsilon_e + \alpha_o)}{\cos(\mp \varphi_e - \varepsilon_e + \phi_e)} - \frac{R_{1e} \cdot \sin \theta_{1e}}{\sin(\phi_e + \alpha_o)};$$

$$R_{3e} = U_e \cos(\pm \delta_e + \alpha_o + \mu) / \cos(\varepsilon_e \mp \delta_e);$$

К определению бокового давления грунта на сооружение с учетом его кинематики



а- зависимость результирующей E бокового давления грунта и ее предельной E_e и допредельной E' составляющих от обобщенных перемещений сооружения; б, в- расчетные схемы при плоских поверхностях скольжения для зон предельного и допредельного напряженного состояния соответственно; г, д- то же при неплоских поверхностях скольжения.

Рис. I

Из условия равновесия призмы грунта в допредельной зоне (рис.1,д) найдено:

$$E' = d \cdot \sin(t - \varepsilon + \varepsilon') / \cos(\varepsilon' \mp \delta'); \\ \text{где } d = (c^2 + R_{3e}^2 - 2 \cdot c \cdot R_{3e} \cdot \cos z')^{1/2}; \\ t = \arcsin(c \cdot \sin z' / d); z' = \pi - y' - \varepsilon_e - \alpha_0; \\ y' = \arcsin[S_2' \cdot \cos(\alpha_0 \pm \varphi' + \varepsilon') / c];$$

При рассмотрении сооружения с крутой контактной гранью при отсутствии переходной зоны Прандтля (рис.2,а,б) получено для предельной зоны:

$$E_e = U_{1e} \cdot \sin(\mu_{1e} + \varepsilon_e + \alpha_0) / \cos(\varepsilon_e \mp \delta_e); \\ R_{1e} = (G_{\gamma 1e} + G_{qe}) \cdot \sin(\rho_e - \beta - \eta_{1e} - \vartheta_e) / \cos(\eta_{1e} + \vartheta_e); \\ R_{2e} = U_{1e} \cdot \cos(\mu_{1e} \pm \delta_e + \alpha_0) / \cos(\varepsilon_e \mp \delta_e);$$

где

$$U_{1e} = (G_{\gamma 1e} + G_{qe} + G_{\gamma 2e}) \cdot \cos(\beta - \rho_e) / \cos(\beta - \rho_e + \mu_{1e});$$

и для допредельной зоны:

$$E' = b \cdot \sin(y + \varepsilon' - \varepsilon_e) / \cos(\varepsilon' \mp \delta'),$$

где

$$b = [a^2 + R_{2e}^2 + 2a \cdot R_{2e} \cdot \cos(\varepsilon_e + \alpha_0 + x)]^{1/2}; \\ y = \arcsin[a \cdot \sin(\varepsilon_e + \alpha_0 + x) / b]; \\ x = \arcsin[S_1' \cdot \sin(\rho' - \beta - \eta_1' - \vartheta') / a];$$

Для портовых гидротехнических сооружений с пологой контактной гранью в соответствии с расчетной схемой, приведенной на рис.2,в, результирующая бокового давления грунта найдена в виде

$$E = g \cdot \sin(\theta_{2e} + p) / \sin \mu,$$

где

$$p = \arcsin[S_{1,3} \cdot \sin(\theta_{1e} - \theta_1' \pm \varphi_e \mp \varphi') / g]; \\ g = [S_{1,3}^2 + S_{2,3}^2 + 2 \cdot S_{1,3} \cdot S_{2,3} \cdot \cos(\theta_1' - \theta_{1e} \pm \varphi' \mp \varphi_e)]^{1/2};$$

Для определения интенсивности бокового давления грунта на портовые гидротехнические сооружения в их промежуточных и конечных деформированных состояниях разработаны способы построения линейных и криволинейных эпюр давления. Поскольку последние дают лучшую сходимость с известными эксперименталь-

Определение бокового давления грунта на сооружение с крутой стенкой при отсутствии зоны Прандтля (а, б- для зон предельного и допредельного напряженного состояния грунта соответственно) и с полой стенкой (в)

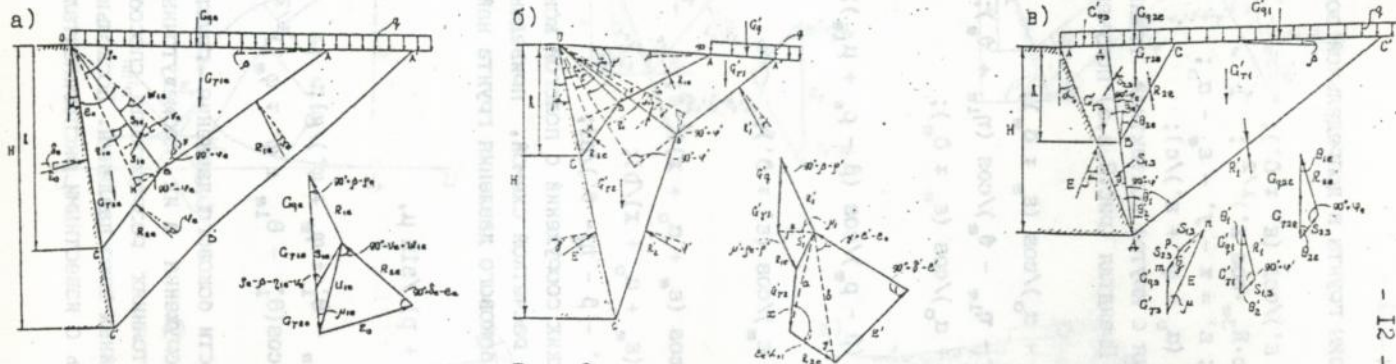


Рис. 2

К определению места приложения равнодействующей бокового давления грунта на сооружение при плоских (а) и неплоских (б) поверхностях скольжения

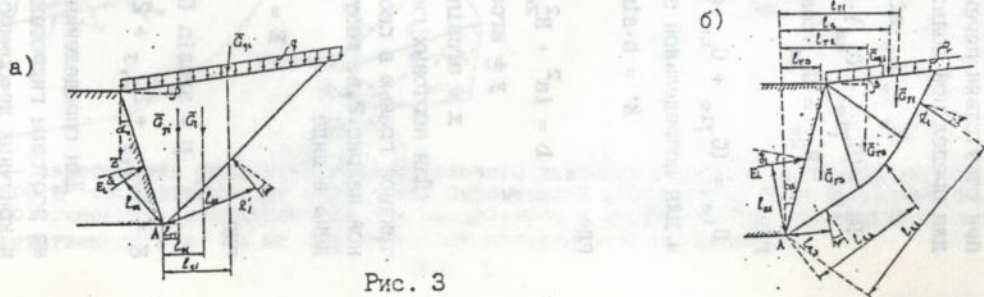


Рис. 3

ными данными, отметим основные принципы определения расчетных параметров параболических эпюр, записываемых в виде

$$\sigma(z) = az^2 + bz + c, \quad (3)$$

где a, b, c - неизвестные коэффициенты, а z - ордината, отсчитываемая вертикально вниз от точки пересечения поверхности грунта с контактной гранью стенки ($0 \leq z \leq H$). Первые два граничных условия достаточно традиционны:

$$\sigma(z=0) = c = q \cdot \lambda, \quad \int_0^H \delta(z) dz = E.$$

Третье же граничное условие подразумевает известность координаты центра тяжести искомой эпюры Z_E , которая может быть принята по результатам известных экспериментальных исследований (данные многих исследователей об этом параметре отличаются незначительно и получены из опытов как со свободной, так и с загруженной дневной поверхностью засыпки) либо рассчитана по специально разработанной методике, рассмотренной ниже. Тогда

$$\int_0^H z \cdot \sigma(z) dz / \int_0^H \sigma(z) dz = z_E.$$

Приведенные три граничных условия определяют коэффициенты криволинейной эпюры интенсивностей давления (3). Методы практической реализации этого подхода разработаны для наиболее часто встречающихся случаев эксплуатации портовых сооружений: при равномерно распределенной полезной поверхностной нагрузке (частный случай - отсутствие нагрузки), при локальной полосовой и при ступенчато изменяющейся эксплуатационных нагрузках.

Для вычислений по приведенным выше методам и расчетным схемам разработано необходимое программное обеспечение на языке TURBO-BASIC для IBM - совместимых компьютеров, которое включает программы определения нагрузок от бокового (распорного или отпорного) давления грунта при всех рассмотренных выше поверхностях скольжения для подпорных стенок портовых сооружений различной крутизны для всех возможных для жестких конструкций обобщенных перемещений и их комбинаций. Программы позволяют получить не только зависимости типа $E = E(u)$ (в табличной или графической форме), но и определить эпюры (билинейные либо криволинейные) бокового давления грунта.

Разработан метод определения центра давления без построения соответствующих эпюр. В основу его положено не тради-

ционное условие равновесия взаимодействующего с сооружением массива грунта по силам, а условие его равновесия по моментам.

Соответствующие расчетные схемы при плоских и неплоских поверхностях скольжения приведены на рис.3. В первом случае указанное условие для 1-го деформированного состояния сооружение записывается в виде

$$E_1 l_{E1} - R'_1 l_{R1} + G_1 l_{G1} = 0, \quad (4)$$

$$G_1 l_{G1} = G_{\gamma 1} l_{\gamma 1} + G_{q1} l_{q1},$$

где $l_{E1}, l_{R1}, l_{\gamma 1}, l_{q1}$ - плечи соответствующих сил.

В уравнении (4) неизвестными величинами являются плечи l_{E1} и l_{R1} , а определение остальных входящих в него параметров принципиальных затруднений не вызывает. Поскольку в общем случае плечи l_{E1} и l_{R1} являются функциями смещения стенки U_1 или (что совпадает по смыслу) высоты h_1 , а вид этих функций априорно неизвестен, то примем их степенными

$$\left. \begin{aligned} l_{E1} &= a_E h_1^k + b_E h_1^{k-1} + \dots + c_E h_1 + d_E; \\ l_{R1} &= a_R h_1^k + b_R h_1^{k-1} + \dots + c_R h_1 + d_R, \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

где k - целое положительное число ($k = 1, 2, \dots$).

С учетом выражений (5) общая зависимость (4) становится уравнением с $2(k+1)$ неизвестными параметрами $a_E, b_E, \dots, d_E, a_R, b_R, \dots, d_R$. Для их нахождения следует получить систему из $2(k+1)$ линейных уравнений, что можно сделать, учитывая справедливость уравнения (4) для любого промежуточного деформированного состояния взаимодействующего с сооружением массива грунта. Тогда, принимая $l = 2(k+1)$, из общего уравнения (4), варьируя параметром l , с учетом выражения (5), получаем искомую систему. Найдя плечо силы E_1 несложно определить ординату точки ее приложения:

$$z_{E1} = H - l_{E1} \cdot \cos \alpha_0 / \cos \delta_1,$$

где δ_1 - угол, определяющий направление действия силы E_1 и вычисляемый для данного 1-го деформированного состояния сооружения по формуле

$$\delta_1 = \pm \delta_e - \arcsin [(E'/E) \cdot \sin (\pm \delta_e \mp \delta')].$$

На неплоских поверхностях скольжения (рис.3,б) реализован аналогичный подход, отличающийся только количеством неизвестных ($l_{E1}, l_{R11}, l_{R21}, l_{R31}$) и, соответственно, степенью решаемой системы уравнений.

В третьей главе приведены постановка задачи и результаты применения математического моделирования системы "портовое сооружение - грунтовая среда" кинематическими методами. Как для модельной задачи (подпорная стенка причального сооружения высотой 15 м с варьируемыми значениями углов α_0 , β и параметра $m = \delta/\varphi$), так и для экспериментально исследованных сооружений меньшей высоты (опыты Э.В.Цагарели, Р.В.Лубенова, П.И.Яковлева, Ф.М.Шихиева, В.Т.Бугаева, М.Н.Варгина, М.Е.Кагана и др.) выполнены многочисленные серии расчетов по указанным выше программам на ЭВМ, в ходе которых изучалось влияние таких факторов, как:

- направление, характер и величина обобщенных перемещений сооружения;
- топология сооружения и взаимодействующего с ним массива грунта;
- форма поверхностей скольжения;
- точность задания параметра α (в сравнении с точностью задания других исходных данных: γ , φ , q).

Анализ полученных результатов и их сопоставление с экспериментальными данными дали возможность сделать следующие выводы.

Разработанные кинематические методы позволяют качественно верно и достаточно точно количественно учесть влияние обобщенных перемещений сооружения на условия и характер его взаимодействия с грунтовой средой. Как для отпорной, так и для распорной зоны расчетные зависимости $E=E(u)$ подобны экспериментальным при учете комбинированных перемещений сооружения (поступательные подвижки, совмещенные с поворотом относительно нижней либо верхней оси), а также при его поворотах. На основе анализа результатов расчетов при различных значениях параметра m подтверждена возможность использования гипотезы о плоских поверхностях скольжения при оценке распорного (в пределе - активного) давления грунта и необходимость применения более сложных неплоских форм этих поверхностей при рассмотрении отпорного (в пределе - пассивного) давления. Показано, что точность задания параметра α в принятых интервалах его значений для распорного и отпорного давлений достаточна для получения достоверных результатов. Сравнение расчетных криволинейных (по параболической аппрок-

симации) и экспериментальных эпюр свидетельствует о хорошей сходимости сопоставляемых параметров и эффективности разработанного подхода. Некоторые результаты выполненных сопоставлений приведены на рис. 4.

В четвертой главе изучено влияние "обратного" направления сил контактного трения, т.е. действующего снизу вверх при распорном либо сверху вниз при опорном давлении, грунта при взаимодействии последнего с портовыми сооружениями, в т.ч. в сейсмических условиях. Параметром, позволяющим учитывать направление сил контактного трения при расчете крутых стенок, является знак угла δ , а при рассмотрении пологих стенок - направление реактивных сил S_1 .

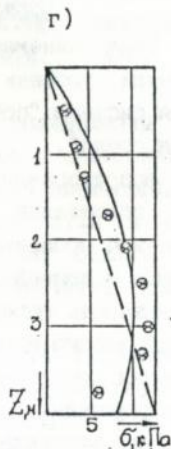
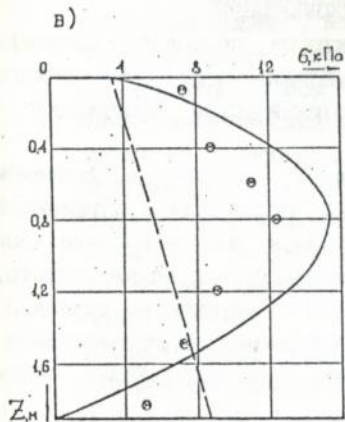
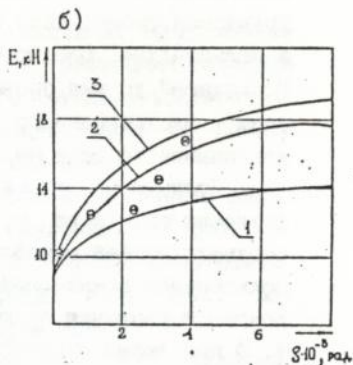
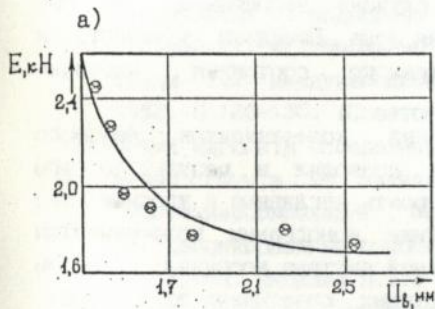
Для вычисления коэффициентов активного и пассивного давления грунта применен аппарат технической теории предельного напряженного состояния П.И.Яковлева. Расчетный алгоритм, учитывающий как направление сил контактного трения, так и крутизну контактной грани сооружения (в том числе с соответствующей маркировкой получаемых значений), реализован в программе, пригодной для использования на IBM - совместимых компьютерах. Это позволило исследовать рассматриваемые системы "сооружение - грунтовая среда" в широком диапазоне значений всех основных ее параметров ($-1 \leq m \leq 1$; $-45^\circ \leq \varphi \leq 45^\circ$; $-20^\circ \leq \beta \leq 20^\circ$; $-20^\circ \leq \alpha_0 \leq 30^\circ$), а также получить подробные таблицы (около 100) значений упомянутых коэффициентов.

К числу основных выводов, которые можно сделать на базе анализа полученных в этой главе результатов следует отнести следующие:

- зависимости коэффициентов бокового давления грунта от угла контактного трения при "обратном" трении имеют качественно противоположный характер по сравнению с "прямым" трением; в качественном отношении угол δ влияет значительно сильнее при "обратном" трении (до 1,5-2 раз), чем при прямом;

- влияние угла φ примерно одинаково при "прямом" и "обратном" трении для небольших значений параметра m и существенно различается (до нескольких раз) при значениях m , близких к единице (т.е. при близких значениях углов δ и φ);

Некоторые результаты сравнения экспериментальных
и расчетных данных



а, б - зависимости распорного и отпорного давления грунта соответственно от поворота контактной грани сооружения относительно ее низа (U_B - смещение верха, ρ - угол поворота ($1-m=0$; $2-m=0,5$; $3-m=1$); в, г - эпюры распорного давления грунта на стенку соответственно при ее поступательном смещении и при повороте относительно низа; сплошные линии - расчет по предложенной модели; штриховые линии - расчет традиционным методом; кружки - экспериментальные данные

Рис. 4

- основным следствием изменения направления сил поверхностного (контактного) трения является трансформация напряженного состояния взаимодействующей с сооружением грунтовой среды; если при "прямом" трении это состояние было в большинстве рассмотренных случаев непрерывным, то при "обратном" трении промежуточная зона Прандтля исчезает, а зоны экстремального напряженного состояния частично накладываются одна на другую.

Полученный массив значений коэффициентов бокового давления грунта на сооружение позволил в результате его соответствующей обработки построить наглядные и удобные для пользования в инженерной практике номограммы коэффициентов бокового давления в прямоугольной системе координат с осями φ , δ при любых физически допустимых сочетаниях этих углов.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

1. Учет кинематических факторов позволяет повысить качественный уровень оценки напряженно-деформированного состояния системы "портовое гидротехническое сооружение - грунтовая среда".

2. Использование разработанной модели исследуемой системы, основанной на смешанной постановке, отражающей одновременное возникновение, развитие и взаимодействие зон предельного и допредельного напряженного состояния грунта, дает возможность определить нагрузки от бокового давления грунта для любого промежуточного и конечного деформированного состояния сооружения; построить соответствующие эпюры бокового давления.

3. Учет направления, характера и величины обобщенных перемещений сооружения позволяет повысить надежность его проектирования и эксплуатации, избежать недооценки распорного и переоценки опорного давления, свойственных традиционным методам проектирования.

4. Разработанная методика определения места приложения равнодействующей бокового давления грунта на сооружение дает возможность отказаться от построения эпюр давления на жесткие подпорные стенки и находить центр давления для любого деформированного состояния сооружения.

Основные положения диссертационной работы опубликованы в следующих научных работах:

1. Определение бокового давления грунта на заглубленные фундаменты и подпорные стенки в упругопластической постановке. // Проблемы свайного фундаментостроения/ Труды III Международной конференции. Часть I. -Пермь, 1992. С.126-130. (Соавтор Дубровский М.П.)
2. Общий алгоритм определения активного и пассивного давления грунта на инженерные сооружения. // Деп. в "Мортехинформрекламе", N5-4/104, 8.02.1993. Аннотация: Сб. "Депонированные рукописи" ВИНИТИ, N10, 1992. 6с. (Соавторы: Яковлев П.И., Дубровский М.П.)
3. Общий алгоритм определения силы бокового давления грунта в упругопластической постановке. / Деп. в "Мортехинформрекламе", N5-4/104, 08.02.92. Аннотация: Сб. "Депонированные рукописи" ВИНИТИ, N10, 1992. 6с. (Соавтор Дубровский М.П.)
4. Учет кинематических факторов при определении давления грунта на подпорные стенки инженерных сооружений // Тези доповідей 45 наукової конференції професорів, викладачів, наукових працівників, аспірантів та студентів Інституту. Частина 2 / Міністерство Освіти України. Полтавський інженерно-будівельний інститут. Полтава -1993. С.62-63.
5. Кинематическая модель взаимодействия грунтовой среды с подпорной стенкой //Нелинейная механика грунтов/Труды IV Российской конференции с иностранным участием. Под ред. А.Б.Фадеева, Том 2. С-Петербург. -1993. С.58-63 (Соавтор Дубровский М.П.)
6. Алгоритмизация смешаной постановки упруго-пластической задачи определения бокового давления грунта на подпорные стенки. //Нелинейная механика грунтов /Труды IV Российской конференции с иностранным участием. Под ред. А.Б.Фадеева, Том 2. С-Петербург. -1993. С.64-70 (Соавтор Дубровский М.П.)
7. Программа определения бокового давления грунта на подпорную стенку как функции от ее перемещений при плоских и криволинейных поверхностях скольжения //Нелиней-

- ная механика грунтов / Труды IV Российской конференции с иностранным участием. Под ред. А.В.Фадеева, Том 2. С-Петербург. -1993. С.71-77 (Соавтор Дубровский М.П.)
8. Новые возможности компьютерного моделирования взаимодействия подпорных стенок с грунтовой средой в упруго-пластической постановке // Исследования и разработки по компьютерному проектированию фундаментов и оснований:Меж.вуз.сб.научных трудов /НПИ.Новочеркасск.-1993. (Соавтор Дубровский М.П.)
9. Development of the port of Latakia // Qatar Construction, 1993, N7. p.17-21. (Соавторы: Yakovlev P.I., Dubrovsky M.P., Eliseev G.I.)
10. New designs of sheet pile walls with increased bearing capacity //Qatar Construction, 1993, N7. p.22-26. (Соавторы:Dubrovsky M.P., Poizner M.B., Yakovlev P.I.)

Зак. 767, тир. 120, подп. к печ. 23. 07. 93г.
Уст. печ. лист. 1, 3, КМІ ОИИМФ Одесса,
ул. Мечникова, 34.

AB 11190

AB 11190

181500

