

**МИНИСТЕРСТВО ОБРАЗОВАНИЯ АЗЕРБАЙДЖАНСКОЙ
РЕСПУБЛИКИ
АЗЕРБАЙДЖАНСКИЙ АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ
УНИВЕРСИТЕТ**

На правах рукописи

ГАСАНОВ ЭЛЬГИЗ ЭЛЬДАР оглы

**РАЗРАБОТКА И УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ
МЕТОДОВ РАСЧЕТА ДОКОВЫХ И РАМНЫХ
КОНСТРУКЦИЙ ГИДРОТЕХНИЧЕСКИХ
СООРУЖЕНИЙ**

Специальность: 3305.08- "Гидротехническое строительство"

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т

**Диссертации на соискание ученой степени доктора
философии по технике**

БАКУ-2016

Работа выполнена на кафедре "Гидротехнические сооружения и гидравлика" Азербайджанского Архитектурно-Строительного Университета.

Научный руководитель: доктор философии по технике,
профессор **К.М. МАМЕДОВ**

Официальные оппоненты: Доктор технических наук,
Профессор **Б.Г. АЛИЕВ**
Доктор философии по технике
А. А.БАЙРАМОВ

Ведущая организация: Азербайджанский Научно -
Исследовательский Институт
Гидротехники и Мелиорации.

Защита диссертации состоится " __03__ " __06__ 2016г. в ____ часов на заседании Диссертационного Совета Д 02.042 при Азербайджанском Архитектурно - Строительном Университете по адресу:

Аз. 1073/1, г. Баку, ул. А.Султанова 11, корпус 1, ауд. 317.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Азербайджанского Архитектурно-Строительного Университета.

Автореферат разослан " _____ " _____ 2016 г.

Ученый секретарь

Диссертационного Совета Д 02.042

Доктор философии по ф.м.н. доцент

А.М.ИСАЕВ

HASANOV ELGIZ ELDAR oğlu

Dock and frame investigation and improve of the methods in hydroengineering devices.

SUMMARY

In the dissertation work, calculation methods on deformation of dock and frame typed constructions applied to hydraulic devices using linear and non-linear mechanical model for non-rock ground condition have been developed and improved. Calculation method of flexible substructures with fixed and variable hardness taking into account that the hardness coefficient of foundation ground changes on linear and non-linear law, by using Fuss-Winckler model, has been considered.

Deformation calculation methods of substructure and built-in elements of dock and frame type constructions in unstable structured swelling clay and loss-formed sinking grounds have been developed. Substructural element of dock typed constructions has been considered taking into account of random location state of blotting source in swelling clay ground. Deformation calculation method in non-linear variation law of hardness coefficient of ground characterizing of Fuss-Winckler model in II typed loss-formed sinking ground condition of console side walls of dock typed constructions has been considered.

Kağız formatı 60x84 1/16,

Çap vərəqi: 1.5

Sifariş № 21. Tiraj 100.

AzMIU

“Nəşriyyat – Poliqrafiya Mərkəzi”

tel.: (012) 539 07 17

E-mail: azmiu-npm@mail.ru

Əlyazması hüququnda

ELGİZ ELDAR OĞLU HƏSƏNOV

HİDROTEKNİKİ QURĞULARDA DOK VƏ ÇƏRÇİVƏ
TİPLİ KONSTRUKSİYALARININ HESABLANMA
METODLARININ İŞLƏNMƏSİ
VƏ TƏKMİLLƏŞDİRİLMƏSİ

İxtisas: 3305.08- "Hidrotexniki tikinti"

Texnika üzrə fəlsəfə doktoru alimlik dərəcəsi
almaq üçün təqdim edilmiş dissertasiyanın

A V T O R E F E R A T I

BAKI- 2016

ELGİZ ELDAR oğlu HƏSƏNOV

Hidrotexniki qurğularda dok və çərçivə tipli konstruksiyaların
hesablama metodların tədqiqi və təkmilləşdirilməsi.

X Ü L A S Ə

Dissertasiya işində qeyri qaya qrunnt şəraiti üçün xətti və qeyri-xətti mexaniki modeldən istifadə etməklə hidrotexniki qurğularda tətbiq edilən dok və çərçivə tipli konstruksiyaların deformasiyaya hesablanma metodları işlənmiş və təkmilləşdirilmişdir. Fuss-Vinkler modelindən istifadə etməklə bünövrə qrunntunun sərtlik əmsalının xətti və qeyri xətti qanunla dəyişməsinə nəzərə almaqla, sabit və dəyişən sərtlikli çevik dib konstruksiyaların deformasiya hesablanma məsələsinə baxılmışdır.

Dayanıqsız strukturlu şişən gil və lyosvari batan qruntlarda dok və çərçivə tipli konstruksiyaların dib və divar elementlərinin deformasiya hesablanma metodikaları işlənmişdir. Dok tipli konstruksiyaların dib elementinin şişən gil qruntlarda islanma mənbəyinin ixtiyarı yerləşmə halını nəzərə almaqla deformasiyaya hesablanması məsələsinə baxılmışdır. Dok tipli konstruksiyanın konsol yan divarların II- tip lyosvari batan qrunnt şəraitində, Fuss-Vinkler modelini xarakterizə edən qrunntun sərtlik əmsalının qeyri-xətti dəyişmə qanunauyğunluğunda deformasiyaya hesablanma məsələsinə baxılmışdır.

can Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri" cild 6. 2014. İSSN: 2076-0515, s. 97-106

11. Деформационный расчет нижнего ригеля рамной конструкции гидротехнических сооружений на лессовых просадочных грунтах II типа по просадочности // Az.MIU. Elmi əsərlər. №2, 2013, İSSN: 2222-5013, s.75-90
12. Hasanov E.E. Deformation calculation of split bottoms of docking constructions of hydraulic structure on swelling clay soils // SAEQ. Science and applied engi-neering quarterly. ISSN: 2054-2763 05, 2014. pp. 20-22
13. Həsənov E.E., Camayeva A.M. Dok tipli kameranın sabit çəvik dib elementinin istismar halında deformasiyaya hesablanması // "Ekologiya və su təsərrüfatı" Elmi-texniki jurnalı №1, Bakı, 2014, s. 57-61
14. Həsənov E.E., Abdullayev R.S. Qrunt suyunun təzyiqini və öz çəkisinin təsirini nəzərə almaqla durulducu kameranın çəvik yan divarının deformasiyaya hesablanması metodikası // "Ekologiya və su təsərrüfatı". Elmi-texniki jurnalı №4, Bakı, 2014, s. 45-48
15. Musayev Z.S., Həsənov E.E., Abdullayev R.S. Dok tipli durulducu kameranın yan divar elementinin II tip lyosvari tökmə qrunt şəraitində deformasiyaya hesablanması // "Ekologiya və su təsərrüfatı". Elmi-texniki jurnalı №4, Bakı, 2014, s. 28-31
16. Гасанов Э.Э. Деформационный расчет боковых стен доковых камер взаимодействующих с лессовыми грунтами II типа по просадочности // "Актуальные проблемы гуманитарных и естественных наук", ISSN 2073-0071 № 10, Москва, 2015, с. 82-85
17. Məmmədov K.M., Həsənov E.E. Hidrotexniki qurğuların yeraltı konturunda tətbiq olunan anker ponurların hesablanması metodikası // AzMIU. Elmi əsərlər. İSSN-2222-5013, №2, Bakı, 2014, s.65-68

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. В настоящее время экономика нашей республики развивается высокими темпами. Темпы развития коснулись также строительства водохозяйственных объектов и многих речных, морских гидротехнических сооружений. Эти вопросы ставят серьезные задачи в области создания экономически эффективных конструкций гидротехнических сооружений. Весьма серьезной задачей является обеспечения прочности, устойчивости и долговечности конструкций гидротехнических сооружений эксплуатация которых соответствует самым неблагоприятным условиям. К одним из многих гидротехнических сооружений можно отнести доковые, рамные и лотковые конструкции. Конструкции докового типа являются основной частью судоходных шлюзов, рыбопропускных сооружений, поверхностных водосбросов, отстойников, перепадов, гасительных устройств и др. Конструкции же рамного типа главным образом применяются в донных водосбросах, устраиваемых в теле земляной плотины, дюкерах, а также в других сооружениях.

Несмотря на широкое применение этих конструкций в практике гидротехнического строительства их напряженно-деформированное состояние и вопросы взаимодействия этих конструкций с грунтом на сегодняшний день, как в теоретическом и в экспериментальном плане исследованы явно недостаточно в связи, с чем требуют дальнейшего развития и совершенствования.

Настоящая диссертационная работа посвящена весьма актуальной проблеме - разработке и совершенствованию эффективных методов расчета доковых и рамных конструкций гидротехнических сооружений, исходя из наиболее реальных расчетных схем отражающие совместную работу системы "конструкция-основание". **Целью диссертационной работы** является разработка и совершенствование методики деформационного расчета элементов доковых и рамных конструкций, взаимодействующих с обычными и структурно-неустойчивыми грунтами.

Решение рассматриваемых контактных задач осуществляется с использованием новых и уточненных линейных и нелинейных расчетно-механических моделей основания, наиболее полно учитывающие совместную работу системы "конструкция-основание".

Для достижения этой цели потребовалось решение следующих задач: - на основе анализа и обобщения существующих методов расчета конструкций взаимодействующих с обычными и структурно неустойчивыми грунтами, предложены новые эффективные расчетно-механические модели основания;

- расчет днища доковых конструкций на сплошном грунтовом основании с учетом нелинейной связи между напряжением и деформацией;

- расчет днища доковых конструкций, как балка на линейно-деформируемом грунтовом основании;

- расчет нижнего гибкого ригеля рамной конструкции с использованием модели Фусса-Винклера характеризуемой параболически-нелинейным законом, изменения коэффициента жесткости грунта основания;

- расчет нижнего ригеля рамной конструкции методом упругого полупространства и с использованием комбинированной модели грунта основания предложенным Н.М.Герсевановым.;

- деформационный расчет гибких боковых стен доковых конструкций постоянного сечения с учетом влияния собственного веса;

- расчет консольного днища с постоянной изгибной жесткостью на первый эксплуатационный случай;

- расчет консольного днища с переменной изгибной жесткостью на второй эксплуатационный случай;

- расчет днища доковых, рамных конструкций на воздействие набухания глинистого основания при различных случаях расположения источника увлажнения;

- расчет консольного днища с концевыми опорами на воздействие набухания глинистого основания;

- расчет боковых стен доковых камер взаимодействующие с лессовыми грунтами II типа по просадочности.

Научная новизна диссертационной работы заключается в следующем:

- разработана методика расчета днищ доковых конструкций на сплошном грунтовом основании с учетом нелинейной связи между напряжением и деформацией;

- разработана методика расчета днищ доковых конструкций на линейно-деформируемом основании применением модели

моментов и перерезывающих сил. Был произведен сравнительный анализ полученных результатов с результатами по И.А.Симвулиди.

Основные результаты диссертационной работы опубликованы в следующих работах:

1. Мамедов К.М., Гасанов Э.Э. Деформационный расчет консольных днищ постоянной жесткости камер судоходных шлюзов // ВНИИС по строительству и архитектура, 1988.
2. Мамедов К.М., Гасанов Э.Э. Расчет консольных днищ переменной жесткости камер судоходных шлюзов // О коэффициенте жесткости винклеровой модели для линейно-деформированного слоя, подстилаемой жестким основанием // Вниинтпи Госстрой СССР строительство и архитектура вып. 10, 1988.
3. Мамедов К.М., Гасанов Э.Э. О коэффициенте жесткости винклеровой модели для линейно-деформированного слоя, подстилаемой жестким основанием // Вниинтпи Госстрой СССР строительство и архитектура вып. 11, 1989.
4. Пашаев Э.П., Гасанов Э.Э. Прогноз просадки природного напряженного состояния лессового грунта // Вниинтпи Госстрой СССР строительство и архитектура вып. 11, 1989.
5. Пашаев Э.П., Гасанов Э.Э. Условия «вторжения» подземного потока в активную зону оснований сооружений // Вниинтпи Госстрой СССР строительство и архитектура вып. 11, 1989.
6. Мамедов К.М., Гасанов Э.Э. О коэффициенте жесткости винклерового основания для расчета доковых камер судоходных шлюзов // Вниинтпи Госстрой СССР строительство и архитектура, выпуск 2, 1990.
7. Мамедов К.М., Гасанов Э.Э. О совместной работе днища доковых камер судоходного шлюза на сжимаемом основании конечной толщины // АзНИИНТИ, 1991.
8. Статический расчет днища лотковых конструкций ГТС на некальных основаниях // "Ekologiya və su təsərrüfatı" Elmi-texniki jurnalı, №5. Bakı, 2013.
9. Гасанов Э.Э. Деформационный расчет гибких наклонных стен в грунтовой среде на действие горизонтальной силы // Az.MIU.Elmi əsərlər. №1, 2013, ISSN: 2222-5013.s. 55-59
10. Гасанов Э.Э. Расчет термонапряженного состояния элементов доковых конструкций гидротехнических сооружений // "Azərbay-

жесткостью. Общее решение рассматриваемых статических контактных задач построено методом последовательных приближений по Пикару с использованием, так называемой краевой функции, содержащие все необходимые статические и кинематические параметры начального сечения рассчитываемой конструкции.

6. Рассмотрен вопрос деформационного расчета гибкого нижнего ригеля с постоянной изгибной жесткостью с применением расчетно-теоретического метода основанной на комбинированной модели, где интенсивность внешней нагрузки выражается с помощью протяженных и мгновенных прерывателей Н.М.Герсеванова. Полученное выражение позволяет для каждого случая изменения коэффициента жесткости грунта основания и схем нагрузки получить уравнение изогнутой оси балки.

7. Предложена методика деформационного расчета днищ доковых и рамных конструкций на основе модели Фусса-Винклера, характеризуемой переменным коэффициентом жесткости глинистого набухающего основания. Согласно полученного общего решения были рассмотрены возможные частные случаи расположения источника увлажнения набухающего глинистого грунта основания. При этом были получены расчетные формулы для определения неизвестных начальных параметров перемещений, прогиба, угла поворота, изгибающего момента и перерезывающей силы для различных случаев расположения очага увлажнения.

8. Разработана методика деформационного расчета боковых стен доковых камер судовых шлюзов взаимодействующих структурно неустойчивыми лессовыми грунтами II типа по просадочности. На основе модели Фусса-Винклера, изменяющийся линейным законом в пределах первого и параболически нелинейным законом в пределах второго слоя коэффициентом жесткости грунтовой среды, получены расчетные формулы для полного деформационного расчета боковых стен доковых камер судовых шлюзов, взаимодействующих структурно неустойчивыми просадочными лессовыми грунтами.

9. С применением компьютерной программы были решены численные примеры деформационного расчета днищ доковых конструкций на первый, второй и ремонтный случаи. На основании полученных результатов расчета были построены эпюры перемещений, реактивного сопротивления грунта основания, изгибающих

Фусса-Винклера, характеризуемый с переменным коэффициентом жесткости грунта;

- разработана методика расчета нижнего ригеля рамной конструкции методом упругого полупространства.

- разработана методика расчета нижнего ригеля рамной конструкции комбинированным методом, предложенный Н.М.Герсевановым;

- рассмотрена задача статического расчета днищ доковых конструкций на глинистых набухающих грунтах при различных схемах расположения источников увлажнения основания;

- разработана методика деформационного расчета боковых стен доковых камер на структурно неустойчивых лессовых просадочных грунтах II типа по просадочности.

Практическая значимость Решенные вопросы в настоящей диссертационной работе позволяют внедрить в практику расчета гибких и жестких конструкций, взаимодействующих с различными видами грунтов, позволяющие наиболее полно учитывать совместную работу "конструкция-основание". Предложенные методы расчетов могут быть эффективны при уточнении отдельных положений нормативных документов по проектированию доковых и рамных конструкций применяемых в гидротехническом строительстве.

Достоверность полученных в диссертации результатов подтверждается тем, что все рассматриваемые контактные задачи о расчете доковых и рамных конструкций на грунтовой основе сводятся к решению дифференциального уравнения четвертого порядка, для решения которого были использованы хорошо апробированные математические методы.

Апробация работы. Основные результаты выполненных исследований и выводы по диссертационной работе докладывались на XIII научной конференции профессорско-преподавательского состава и аспирантов (Баку 1989 г.), XIV научной конференции профессорско-преподавательского состава и аспирантов АЗИСИ (Баку 1990 г.), XII Научной конференции аспирантов высших учебных заведений Республики (Баку 1991 г.), Международной научно-практической конференции "По проблемам водного хозяйства, современных коммуникационных систем и экологии" (Баку 2014 г.) .

Публикация. Основное содержание диссертационной работы были отражены в семнадцати опубликованных научных статьях.

На защиту выносятся следующие вопросы:

1. Методика расчета днищ доковых конструкций с постоянной изгибной жесткостью, при нагрузках превышающих расчетного сопротивления грунта основания.

2. Метод расчета гибких днищ доковых конструкций, характеризуемый переменным коэффициентом жесткости винклерового основания.

3. Методы расчета консольных днищ постоянной и переменной жесткости на различные эксплуатационные случаи.

4. Метод расчета гибкого нижнего ригеля рамной конструкции с учетом параболического нелинейного закона изменения коэффициента жесткости винклерового основания.

5. Деформационный расчет нижнего ригеля рамной конструкции с применением метода упругого полупространства.

6. Расчет нижнего ригеля рамной конструкции с использованием комбинированной модели Н.М.Гесеванова впервые использованный в работе И.А.Сивулиди для расчета конструкций лежащей на сплошном грунтовом основании.

7. Методика расчета днищ доковых и рамных конструкций по модели Фусса-Винклера, характеризуемый переменным коэффициентом жесткости глинистого набухающего грунта основания.

8. Метод деформационного расчета боковых стен доковых конструкции на просадочных грунтах II типа по просадочности.

Структура и объем работы. Диссертация состоит из введения, пяти глав, выводов, списка использованной литературы, включающие 150 наименований. Общий объем диссертационной работы 195 страниц, 46 рисунков и 10 таблиц.

Основное содержание работы

Во введении излагается обоснование актуальности темы, цели и задачи, научная новизна, практическая значимость работы, указывается на достоверность полученных результатов, апробация работы и перечень выносимых на защиту вопросов.

В первой главе диссертации описываются типы доковых и рамных конструкций применяемых в гидротехническом строительстве, видах грунтов их оснований, а также возможные

ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ

1. Исходя из модели Фусса-Винклера, предложена аналитическая методика, расчета значений коэффициента жесткости грунта основания для днищ доковых и рамных конструкций гидротехнических сооружений, представляющий собой линейно-деформируемый слой, подстилаемый жестким основанием. При расчетах были учтены влияния боковых пригрузок от обратных засыпок стен камеры на величину конечной осадки, а также коэффициента жесткости основания.

2. Исходя из реальной нелинейной диаграммы между напряжением и осадкой основания, предложена методика расчета гибких днищ доковых конструкций, при нагрузках превышающих расчетное сопротивление грунта основания. Получены расчетные зависимости для определения неизвестных начальных параметров, а также деформаций и внутренних усилий в произвольных сечениях днища.

3. На основе модели Фусса-Винклера, характеризуемой линейно-изменяющимся по глубине коэффициентом жесткости грунта обратных засыпок, разработан метод деформационного расчета гибких стен доковых конструкций на первый эксплуатационный случай. Интенсивность сплошной распределенной нагрузки от результирующего гидростатического давления воды, собственного веса стенки и реактивного отпора грунта засыпки определены на основании односторонних протяженных прерывателей Н.М. Герсеванова. Математически сформулирована и решена статическая контактная задача деформационного расчета гибких стен доковых конструкций постоянной изгибной жесткостью с учетом влияния собственного веса.

4. На основе модели Фусса-Винклера, характеризуемой линейно-изменяющимся по длине консоли коэффициентом жесткости грунта, разработана методика деформационного расчета гибких консольных днищ доковых конструкций переменного сечения. Полученные результаты позволяют произвести деформационный расчет консольного днища треугольного профиля с учетом переменности расчетных характеристик консоли и грунта основания.

5. Исходя из модели Фусса-Винклера, характеризуемой параболически-нелинейным законом изменения коэффициента жесткости грунта основания, предложена методика деформационного расчета гибкого нижнего ригеля рамной конструкции постоянной изгибной

Следует отметить, что очертание эпюр $Y(x)$, $P(x)$, $M(x)$, $Q(x)$ построенные на основе расчетных данных полученных нами полностью совпадают с эпюрами по И.А. Симвулиди для расчета балок на уп-ругом основании, тем самым подтверждается достоверность методики расчета днищ доковых и подобных ему конструкций на сплошном грунтовом основании с применением модели Фусса-Винклера.

расчетные схемы применяемых при расчетах таких конструкций. В этой главе дан обобщенный анализ существующих моделях грунтового основания применяемых для расчета конструкций взаимодействующих с грунтом в гидротехническом строительстве. Здесь же показано, что существенный вклад в теории расчета гибких и жестких балок, опирающиеся на сплошное грунтовое основание внесли работы М.И. Горбунова-Пасадова, Б.Н.Жемочкина, И.А. Симвулиди, А.Н.Крылова, Н.К. Снитко, А.А.Мустафаева, Н.М. Герсеванова, Н.П.Пузыревского, С.А.Рывкина, С.Н.Клепикова, В.З.Власова, Р.К.Клейна, Е.Ф.Винокурова, Н.А.Цытовича и многих других исследователей. В диссертационной работе дается аналитический метод расчета значений коэффициента жесткости винклерового основания для днищ доковых и рамных конструкций гидротехнических сооружений. Здесь же показано, что характер изменения коэффициента жесткости винклерового основания определяется характером деформирования основания и для получения достоверных результатов следует учесть влияние боковых пригрузок от обратных засыпок стен камеры.

Вторая глава посвящена предлагаемым методикам расчета гибких днищ доковых конструкций возводимых на обычных грунтах с постоянным и переменным коэффициентом жесткости грунтовой среды. Предложена методика расчета днищ лотковых и доковых конструкций при давлениях превышающих расчетного сопротивления грунта основания. Нелинейная связь между напряжением и осадкой согласно, диаграммы зависимости "давление-осадка" хорошо аппроксимируется зависимостью:

$$S = \alpha \sigma^\beta \quad (1)$$

Данная задача изгиба конструкции на сплошном грунтовом основании связано с решением нелинейного дифференциального уравнения четвертого порядка:

$$EJ Y^{IV}(x) = q - b\alpha_2 Y^m(x), \quad (2)$$

Однако решение уравнения (2) сопряжена известными математическими трудностями, поэтому более эффективным является схема линеаризации дифференциального уравнения (рис.1). На основании ряда преобразований уравнение изгиба днища доковых конструкций сводится к решению дифференциального уравнения:

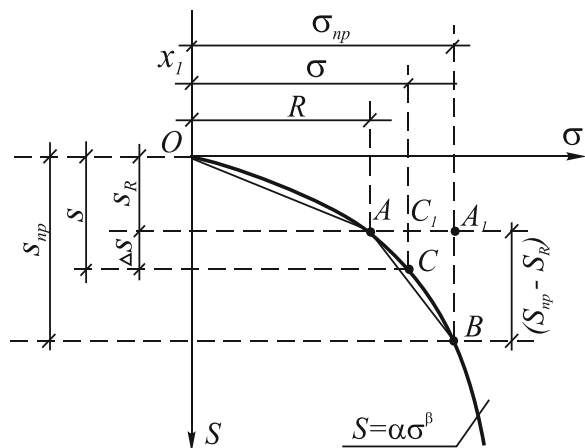


Рис.1. Диаграмма зависимости “давление- осадка”

$$Y^{IV}(x) = \bar{q}_{np} - \alpha_1 Y(x) \quad (3)$$

С учетом граничных условий для левого конца днаща :

$$Y(0) = Y_0; Y'(0) = \theta_0; Y''(0) = \frac{M_0}{EI} = \bar{M}_0; Y'''(0) = \frac{Q_0}{EI} = \bar{Q}_0 \quad (4)$$

Решение сформулированной контактной задачи строится методом быстросходящихся степенных рядов. Путем четырехкратного интегрирования с учетом граничных условий (4) решение рассматриваемой задачи будет в виде:

$$Y(x) = Y_0 \phi_1(x) + \theta_0 \phi_2(x) + \bar{M}_0 \phi_3(x) + \bar{Q}_0 \phi_4(x) + \bar{q}_0 \phi_5(x) \quad (5)$$

где

В пятой главе с использованием компьютерной программы был выполнен численный расчет по определению коэффициента жесткости основания по расчетным вертикалям, как с учетом, так и без учета боковых пригрузок. На основании расчетных данных были составлены таблицы и графики зависимости коэффициента винклерового основания с учетом и без учета боковых пригрузок. Здесь же даны численные примеры деформационного расчета доковых конструкций на первый, второй и ремонтный случаи с применением компьютерной программы. Результаты вычислений были зафиксированы в таблицах и на основании табличных данных были построены эпюры перемещения $Y(x)$, реактивного сопротивления грунта основания $P(x)$, изгибающего момента $M(x)$, и перерезывающей силы $Q(x)$ для каждого расчетного случая (рис.5).

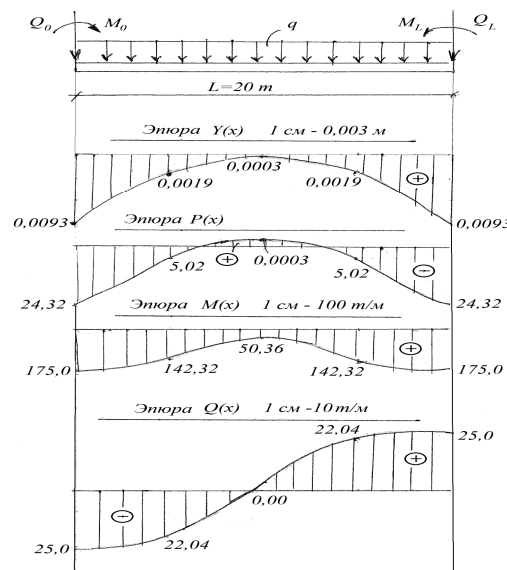


Рис.5. Эпюры $Y(x)$, $P(x)$, $M(x)$, $Q(x)$

щийся выше уровня грунтовых вод изменяется по линейному закону, а эпюра коэффициента жесткости лессового грунта находящегося ниже уровня грунтовых вод изменяется по параболически нелинейному закону. Используя модель Фусса-Винклера, характеризуемая линейно-нарастающим в пределах верхнего слоя коэффициентом жесткости грунтовой среды составлено дифференциальное уравнение изгиба для верхнего участка:

$$Y_1^{IV}(x_1) = \frac{\gamma_w b_0}{EJ} x_1 - \frac{K_{z1}}{h_2 EJ} x_1 Y_1(x_1) = \bar{q}_w x_1 - a_1 x_1 Y_1(x_1) \quad (33)$$

С учетом граничных условий разложим уравнение в степенные ряды Маклорена, и произведя ряд преобразований получим общее решение контактной задачи:

$$Y_1(x) = Y_0 \Phi_1(x_1) + \theta_0 \Phi_2(x_1) + \bar{q}_w \Phi_3(x_1) - a_1 \quad (34)$$

Основные функции общего решения (34) даны в диссертации. С использованием (34) получены выражения для $\theta(x)$, $M(x)$, $Q(x)$.

В пределах второго, слоя эпюра коэффициента жесткости грунта изменяется по закону квадратной параболы. Поступая аналогично, как в первом случае рассмотрен деформационный расчет для второго слоя грунта обратной засыпки.

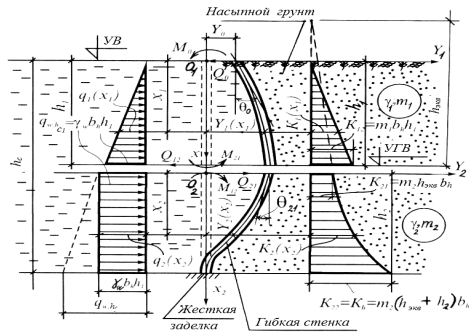


Рис.4. Схема к расчету стенки на горизонтальные нагрузки.

Предложенный метод расчета, позволяет произвести полный деформационный расчет гибкой консольной стенки доковой конструкции, возводимых в лессовых просадочных грунтах II типа по просадочности.

$$\left\{ \begin{aligned} \phi_1(x) &= \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{(\sqrt{2}\beta x)^{4n}}{(4n)!} = ch\beta x \cos\beta x; \\ \phi_2(x) &= \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{(\sqrt{2}\beta)^{4n} x^{4n+2}}{(4n+1)!} = \frac{1}{2\beta} (ch\beta x \sin\beta x + sh\beta x \cos\beta x); \\ \phi_3(x) &= \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{(\sqrt{2}\beta)^{4n} x^{4n+2}}{(4n+2)!} = \frac{1}{2\beta^2} sh\beta x \sin\beta x; \\ \phi_4(x) &= \sum_{n=0}^{\infty} (-1)^n \frac{(\sqrt{2}\beta)^{4n} x^{4n+2}}{(4n+3)!} = \frac{1}{4\beta^3} (ch\beta x \sin\beta x - sh\beta x \cos\beta x); \end{aligned} \right.$$

Исходя, из построенного общего решения (5), определены значения неизвестных начальных параметров перемещения, угла поворота, изгибающего момента и перерезывающей силы.

Сформулирована и решена контактная задача деформационного расчета гибких боковых стен доковых конструкций с учетом собственного веса. Для определения реактивного сопротивления грунта обратной засыпки к горизонтальным перемещениям консоли использовалась модель Фусса-Винклера, характеризуемой линейно-изменяющимся по глубине коэффициентом жесткости грунта.

$$P_{zp}(x) = -\frac{K_{hg}}{h_g} x Y(x) \quad (6)$$

Интенсивность сплошной распределенной нагрузки будет иметь вид:

$$P(x) = P_q(x) + P_c(x) + P_{zp}(x) \quad (7)$$

Для описания прерывного закона изменения $P_q(x)$ по высоте консоли воспользуемся односторонними протяженными прерывателями Н.М.Герсеванова:

$$P_q(x) = \frac{P_{hg}}{h_g} x - \Gamma_{h1} \frac{P_{hg}}{h_g} x + \Gamma_{h1} \frac{P_{hg}}{h_g} h_1 = \gamma_w x - \gamma_w \Gamma_{h1} (x - h_1) \quad (8)$$

Интенсивность поперечной нагрузки от продольной силы линейно-изменяющийся по высоте стенки:

$$P_C(x) = [G(x)Y(x)]'' = \left[\frac{G_C}{h_C} xY(x) \right]' = \frac{G_C}{h_C} [2Y'(x) + xY''(x)] \quad (9)$$

С учетом выражения (7), (8), (9) дифференциальное уравнение изгиба консоли можно представить в виде:

$$Y^{IV}(x) = a_0 x + 2a_C Y'(x) + a_C x Y''(x) - \beta x Y(x) - \Gamma_{h_1} a_0 (x - h_1) \quad (10)$$

С учетом граничных условий и метода последовательных приближений по Пикару уравнения (10) представится в виде:

$$Y_n(x) = Y_0 F_1(x) + \theta_0 F_2(x) + \bar{M}_0 F_3(x) + \bar{Q}_0 F_4(x) + a_0 F_5(x) \quad (11)$$

Основные функции $F_j(x)$, ($j=1,2,3,4,5$) входящие (11), приводятся в диссертации. На основании построенного общего решения (11) получены расчетные формулы для определения деформаций и внутренних усилий в произвольных сечениях днища доковых конструкций с учетом влияния собственного веса.

Исходя из расчетной модели Фусса-Винклера, характеризуемой с переменным коэффициентом жесткости основания рассмотрен, деформационный расчет консольного днища доковой конструкции с постоянной изгибной жесткостью, на первый эксплуатационный случай. Дифференциальное уравнение рассматриваемой задачи имеет вид:

$$Y^{IV}(x) = \bar{q}_0 - \bar{q}_1 x - v^2 Y'(x) - (\bar{K}_0 - \bar{K}_1 x) Y(x) \quad (12)$$

При этом граничные условия для левого конца днища будут:

$$\begin{cases} Y(0) = Y_0; Y'(0) = \theta_0; Y''(0) = \frac{M_0}{EJ} = \bar{M}_0; \\ Y'''(0) = \frac{Q_0}{EJ} - \frac{S_0 Y'(0)}{EJ} = \bar{Q}_0 - v^2 \theta_0. \end{cases} \quad (13)$$

Построив решение (12) в форме метода начальных параметров имеем:

$$Y(x) = Y_0 \Phi_1(x) + \theta_0 \Phi_2(x) + \bar{M}_0 \Phi_3(x) + \bar{Q}_0 \Phi_4(x) + \bar{q}_0 \Phi_5(x) + \bar{q}_1 \Phi_6(x) \quad (14)$$

Основные функции $\Phi_j(x)$ решения (14) приводятся в диссертации. На основании построенного общего решения (14) можно выполнить полный деформационный расчет консольных днищ постоянной изгибной жесткостью с учетом переменности

$$+ a_2 \int_0^x \int_0^x \int_0^x \int_0^x K(x) dx^4 + \bar{Q}_0 \frac{x^3}{3!} + \bar{M}_0 \frac{x^2}{2!} + \theta_0 x + Y_0$$

Полученное выражение позволяет для каждого случая изменения жесткости грунта основания и схем нагрузки получить уравнение изогнутой оси балки.

В четвертой главе диссертации излагаются предлагаемые мето-дики расчета гибких днищ доковых и рамных конструкций на структурно-неустойчивых грунтах. Исходя из модели Фусса-Винклера, характеризуемой переменным коэффициентом жесткости глинистого набухающего основания, произведен деформационный расчет днища доковых конструкций. Дифференциальное уравнение изгиба днищ доковых конструкций при постоянной изгибной жесткости имеет вид:

$$Y^{IV}(x) = \bar{q}(x) + \bar{a}(x - x_1)^2 - aY(x) \quad (29)$$

при этом граничные условия будут:

$$Y(0) = Y_0; Y'(0) = \theta_0; Y''(0) = \frac{M_0}{EI} = \bar{M}_0; Y'''(0) = \frac{Q_0}{EI} = \bar{Q}_0; \quad (30)$$

Решение уравнения (29) можно получить путем разложения искомой функции и $Y(x)$ в степенные ряды Маклорена с учетом граничных условий (30):

$$Y(x) = Y(0) + Y'(0) \frac{x}{1!} + Y''(0) \frac{x^2}{2!} + Y'''(0) \frac{x^3}{3!} + \dots + Y^{(n)}(0) \frac{x^n}{n!} + \dots \quad (31)$$

На основании указанного метода общее решение уравнения (31) представляется в виде:

$$Y(x) = Y_0 F_1(x) + \theta_0 F_2(x) + \bar{M}_0 F_3(x) + \bar{Q}_0 F_4(x) + (\bar{q} + \bar{a}x_1^2) F_5(x) - 2\bar{a}x_1 F_6(x) + 2\bar{a} F_7(x) \quad (32)$$

Решая данное уравнение (32) с учетом граничных условий можно произвести деформационный расчет днища с учетом влияния давления набухания глинистых грунтов для различных случаев увлажнения.

В этой главе дана методика расчета гибких боковых стен доковых конструкций взаимодействующих лессовыми просадочными грунтами. Как видно из расчетной схемы, которая дана на рис. 4., эпюры коэффициента жесткости лессового грунта находя-

$Y(0); Y'(0); Y''(0); Y'''(0)$ определяются с использованием граничных условий. Выражение (25) разложив в ряды Маклорена и сгруппировав функции на основании четырех начальных параметров получим:

$$Y(x) = Y_0 F_1(x) + \theta_A F_2(x) - \frac{M_A}{EJ} F_3(x) + \frac{Q_A}{EJ} F_4(x) \quad (26)$$

где Y_0, θ_A, M_A, Q_A – начальные параметры нижнего ригеля рамы выражают прогиб, угол поворота, изгибающий момент, и перерезывающую силу в начальных сечениях.

$F_1(x), F_2(x), F_3(x), F_4(x)$ линейно независимые дифференциальные функции выражения, которые даны в диссертации

Далее дана методика деформационного расчета нижнего ригеля рамной конструкции с постоянной изгибной жесткостью с применением комбинированного метода, где интенсивность внешней нагрузки выражается с помощью протяженных и мгновенных прерывателей Н.М.Герсеванова (рис.3). Дифференциальное уравнение упругой линии балки имеет вид:

$$\frac{d^4 Y(x)}{dx^4} = \frac{1}{EJ} \sum \Gamma_{i_{H1}}^{-1} f(z) + \frac{1}{EJ} \sum \Gamma_{i_{21}}^{-1} M_i + \frac{1}{EJ} \sum \Gamma_{i_{31}}^{-1} P_i - \frac{1}{EJ} \sum -a_1 + a_2 K(x) \quad (27)$$

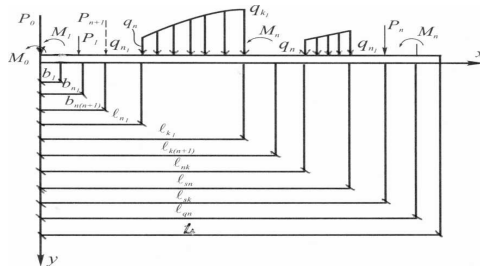


Рис.3 Схема к расчету нижнего ригеля рамы комбинированным методом

$$Y(x) = \frac{1}{EJ} \sum \Gamma_{i_{H1}} \int_{l_{H1}}^x f(z) \frac{(x-z)^3}{3!} dz - \frac{1}{EJ} \sum \Gamma_{i_{K1}} \int_{l_{K1}}^x f(z) \frac{(x-z)^3}{3!} dz + \frac{1}{EJ} \sum \Gamma_{i_{21}} M_i \frac{(x-l_{21})^2}{2!} + \frac{1}{EJ} \sum \Gamma_{i_{31}} P_i \frac{(x-l_{31})^3}{3!} + a_1 \frac{x^4}{4!} + \quad (28)$$

характеристики грунта основания и влияние продольно растягивающей (сжимающей) силы.

В третьей главе диссертации дается предлагаемые методики деформационного расчета гибких элементов рамной конструкции (нижнего, верхнего и бокового ригеля), взаимодействующих с линейно и нелинейно деформируемыми грунтовыми средами. Исходя из модели Фусса-Винклера, характеризующей изменением коэффициента жесткости основания грунтовой среды виде вогнутой параболы, рассмотрен деформационный расчет нижнего ригеля одноочковой рамной конструкции с постоянной изгибной жесткостью на сплошном грунтовом основании. Коэффициент жесткости грунта основания по длине ригеля выражается в виде трехчленной параболы:

$$K(x) = K_0 + \frac{4(K_2-K_0)}{L} x + \frac{4(K_2-K_0)}{L^2} x^2 \quad (15)$$

Дифференциальное уравнение контактной задачи будет:

$$Y^{IV}(x) = v^2 Y''(x) - (a_0 + a_1 x - a_2 x^2) Y(x) \quad (16)$$

Из дифференциального уравнения (16) видно, что $Y(x)$ изменяется по закону параболы, где граничные условия рассматриваемой задачи в начальных координатах при $X=0$, будут:

$$Y(0) = Y_0; Y'(0) = \theta_0; Y''(0) = -\frac{M_0}{EI}; Y'''(0) = \frac{Q_0}{EI} + v^2 \theta_0. \quad (17)$$

Построим общее решение рассматриваемого дифференциального уравнения с использованием так называемой краевой функции:

$$Y_{\text{кр}}(x) = Y_0 + \theta_0 \left(x + \frac{v^2 x^3}{3!} \right) - \frac{M_0 x^2}{EI 2!} + \frac{Q_0 x^3}{EI 3!} + v^2 \int_0^x Y''(z) \frac{(x-z)^3}{3!} dz - \int_0^x (a_0 + a_1 z - a_2 z^2) Y(z) \frac{(x-z)^3}{3!} dz \quad (18)$$

Построив решение методом последовательных приближений по Пикару и сгруппировав, четыре начальных параметров в выражении предельной функции $Y_n(x)$ общее решение рассматриваемой задачи поперечного изгиба дна будет в виде:

$$Y(x) = Y_0 \Phi_1(x) + \theta_0 \Phi_2(x) - \frac{M_0}{EI} \Phi_3(x) + \frac{Q_0}{EI} \Phi_4(x), \quad (19)$$

$$\left\{ \begin{aligned} \Phi_1(x) &= 1 + \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \frac{a_0^2 x^{4n}}{(4n)!} + \frac{a_0}{v^2} \left(1 + \frac{v^2 x^2}{2!} + \frac{(vx)^4}{4!} - chvx \right) \\ \Phi_2(x) &= x + \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \frac{a_0^2 x^{4n+1}}{(4n+1)!} + a_0 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{a_0^2 x^{2n+3}}{(2n+3)!} (n+1) \\ \Phi_3(x) &= \frac{x^3}{2!} + \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \frac{a_0^2 x^{4n+3}}{(4n+3)!} - \frac{1}{v^2} \left(1 + \frac{v^2 x^2}{2!} - chvx \right) - \\ &\quad - a_0 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{a_0^2 x^{2n+5}}{(2n+5)!} (n+1) \\ \Phi_4(x) &= \frac{x^3}{2!} + \sum_{n=1}^{\infty} (-1)^n \frac{a_0^2 x^{4n+3}}{(4n+3)!} - \frac{1}{v^2} \left(\frac{vx}{1!} + \frac{v^3 x^3}{3!} - shvx \right) - \\ &\quad - a_0 \sum_{n=1}^{\infty} \frac{a_0^2 x^{2n+7}}{(2n+7)!} (n+1) \end{aligned} \right. \quad (20)$$

Предложенный метод расчета позволяет произвести деформационный расчет гибкого нижнего ригеля рамной конструкции гидротехнических сооружений.

Предложена методика статического расчета одноочковой рамной конструкции, подверженные различным воздействиям и нагрузкам (рис.2). При этом верхний ригель рамной конструкции рассматривается, как балка лежащая на двух опорах которая подвергается воздействию вдоль пролета распределенной нагрузкой q , в начальных и конечных точках действуют сосредоточенные моменты M_c, M_d , вертикальные силы Q_c, Q_d реакции и сжимающие силы, действующие вдоль оси N_c, N_d . Дифференциальное уравнение изогнутой оси верхнего ригеля будет:

$$Y_1^{IV}(x_1) = \bar{q} - v_1^2 Y_1(x_1) \quad (21)$$

Дифференциальное уравнение (21) рассматривается при следующих граничных условиях ($X=0$).

$$Y_1(0) = Y_0 = 0; Y_1'(0) = \theta_0; Y_1''(0) = \frac{M_c}{EJ_1}; Y_1'''(0) = -\frac{Q_c}{EJ_1} - v_1^2 \theta_c \quad (22)$$

С учетом (22), построение общего решения сформулированной контактной задачи (21) произведен методом разложения искомой функции на степенные ряды:

$$Y_1(x_1) = \theta_c F_1(x_1) + \frac{M_c}{EJ_1} F_2(x_1) + \frac{Q_c}{EJ_1} F_3(x_1) + \frac{v_1}{EJ_1} F_4(x_1) \quad (23)$$

Здесь функции $F_1(x), F_2(x), F_3(x), F_4(x)$ – линейно независимые частные решения однородного уравнения (22). Выражения функций $F_j(x), (j = 1, 2, 3, 4)$ даны в диссертации.

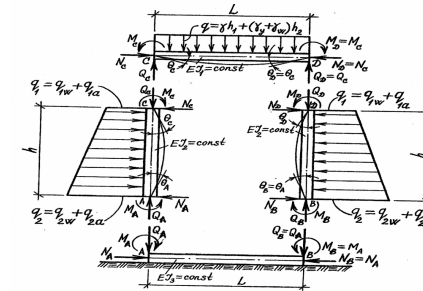


Рис.2. Схема к расчету элементов рамной конструкции

Далее рассмотрен деформационный расчет боковых стенки, где стенка рамной конструкции принимается, как балка, лежащая на двух опорах. На балку действует распределенная трапециодальная нагрузка. Дифференциальное уравнение изгиба боковой стенки можно записать в виде:

$$Y_2^{IV}(x_2) = -\bar{q}_1 - \bar{q}_2 x_2 + v_2^2 Y_2(x_2) \quad (23)$$

Решая дифференциальное уравнение, в бесконечных рядах с учетом граничных условий (23), можно произвести полный деформационный расчет боковой стенки рамной конструкции, на действие трапециодальной распределенной нагрузки и сжимаемой силы вдоль оси стенки. С использованием модели Фусса-Винклера произведен расчет нижнего ригеля одноочковой рамы которую приняли, как балку, лежащую на упругом основании. Коэффициент жесткости грунта изменяется по нелинейному закону, в виде трехчленной параболы. Дифференциальное уравнение изгиба нижнего ригеля можно записать:

$$Y^{IV}(x) = -v^2 Y_2(x) - (a_0 - a_1 x + a_2 x^2) Y(x), \quad (24)$$

Построение общего решения сформулированной контактной задачи возможно с использованием известных математических методов. Решим задачу разложив (24), в ряды Маклорена.

$$Y(x) = Y(0) + Y'(0) \frac{x}{1!} + Y''(0) \frac{x^2}{2!} + Y'''(0) \frac{x^3}{3!} + \dots + Y^{(n)}(0) \frac{x^n}{n!} + \dots \quad (25)$$