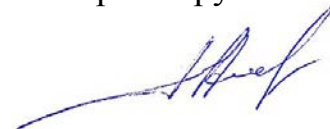


На правах рукописи



БАРЫКИН АЛЕКСАНДР БОРИСОВИЧ

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ
ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ПЕРЕКРЕСТНО-БАЛОЧНЫХ ФУНДАМЕНТОВ С
НАКЛОННЫМ ОСНОВАНИЕМ**

05.23.02 – Основания и фундаменты, подземные сооружения

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Волгоград – 2018

Работа выполнена в Академии строительства и архитектуры федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского»

Научный руководитель

кандидат технических наук, доцент
Дьяков Игорь Михайлович

Официальные оппоненты:

Прокопов Альберт Юрьевич,
доктор технических наук, профессор, зав.
кафедрой «Инженерная геология,
основания и фундаменты» федерального
государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего
образования «Донской государственный
технический университет»

Субботин Анатолий Иванович,
кандидат технических наук, доцент, доцент
кафедры «Промышленное, гражданское
строительство, геотехника и
фундаментостроение» федерального
государственного бюджетного
образовательного учреждения высшего
образования «Южно-Российский
государственный политехнический
университет (НПИ) имени М.И. Платова»

Ведущая организация

федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования «Северный (Арктический)
федеральный университет имени М. В.
Ломоносова»

Защита состоится «25» мая 2018 г. в 10-00 часов на заседании объединенного диссертационного совета Д 999.194.02 при ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет» по адресу: 400074, Волгоград, ул. Академическая, 1, к. Б-203.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Волгоградского государственного технического университета и на официальном сайте по ссылке <http://www.vstu.ru/nauka/dissertatsionnye-sovety/obyavleniya-o-zashchitakh/>

Автореферат разослан «___» _____ 2018 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Акчурин Талгат Кадимович

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Территория юга России, в частности Крымский полуостров – уникальный регион страны, характеризующийся значительным рекреационным потенциалом. Однако, существующий острый дефицит свободных горизонтальных площадок для застройки, которые, к тому же, осложнены природными неудобьями: крутыми склонами, оврагами, лощинами, холмами и т.п., вносит свои коррективы в процесс освоения пространства. Таким образом, перед проектными и строительными организациями стоят задачи возведения на этих территориях зданий и сооружений нового типа с применением наиболее прогрессивных типов фундаментов при минимальных затратах. В настоящее время разработаны решения фундаментов в виде перекрестно-балочной системы, которая укладывается на выровненную дневную поверхность наклонного основания без подрезки основания. Экономическая эффективность данного решения достигается за счет сокращения в 2-2,5 раза объема земляных работ. Однако, остаются практически неизученными вопросы распределения нормальных контактных давлений под подошвой такого фундамента и напряженно-деформированного состояния конструкции при взаимодействии с наклонным основанием, не установлено влияние перераспределения контактных давлений на несущую способность фундаментов по нормальным и наклонным сечениям.

В связи с этим, теоретические и экспериментальные исследования, направленные на выявление особенностей взаимодействия фундаментов с наклонным грунтовым основанием, являются актуальными и имеют важное народнохозяйственное значение.

Степень разработанности темы диссертации. Теоретическими и экспериментальными исследованиями взаимодействия балочных и плитных фундаментов на горизонтальном грунтовом основании занимались многие отечественные и зарубежные ученые (Е.В. Башкиров, Н.И. Безухов, А.Н. Богомоллов, А.В. Вронский, М.Н. Гольдштейн, Ю.В. Голышев, М.И. Горбунов-Посадов, С.В. Довнарвич, Б.И. Долматов, В.П. Дыба, С.И. Евтушенко, М.В. Егоров, Ю.К. Зарецкий, В.А. Ильиных, М.Т. Кенесбаев, П.А. Коновалов, К.К. Куликов, Е.Н. Курбацкий, Г.Е. Лазебник, В.В. Леденев, И.Я. Лучковский, Ю.Н. Мурзенко, В.Г. Офрихтер, А.И. Полищук, О.С. Садаков, В.Ф. Седорчук, Е.А. Синицин, Г.М. Скибин, Е.А. Сорочан, А.А. Смирнов, А.А. Теняков, А.З. Тер-Мартirosян, З.Г. Тер-Мартirosян, Б.Л. Фаянс, Е.Б. Фрайфельд, Р.Р. Хасанов, А.А. Цесарский, В.Г. Шаповал, В.П. Шумовский, С.И. Яковлев и др.)

Изучением особенностей работы перекрестных фундаментов занимались Б.Ю. Барыкин, А.Н. Богомоллов, М.И. Горбунов-Посадов, С.И. Евтушенко, А.М. Лехно, В.Н. Пихур, А.Н. Тетиор и др.

Научных трудов, посвященных взаимодействию фундаментов с наклонным основанием было значительно меньше (Барыкин Б.Ю., Лехно А.М., Тетиор А.Н., и др.). Однако, в данных работах не полностью изучены вопросы возникновения перераспределений контактных давлений в наклонном основании. В связи с этим, вопросы экспериментальных и теоретических исследований взаимодействия перекрестных балочных фундаментов с наклонным основанием, учитывающих

физико-механические характеристики грунта и фундамента, угол наклона основания остаются открытыми.

Цель диссертации: уточнение методики расчета прочности перекрестно-балочных фундаментов на основе наиболее полного учета напряженно-деформированного состояния наклонного основания при действии перераспределенных нормальных контактных давлений под подошвой фундамента.

Задачи исследования, определенные для достижения цели:

1. Провести экспериментальные исследования взаимодействия моделей перекрестно-балочных фундаментов с грунтовым основанием при различных углах наклона основания.

2. Выявить особенности изменения давлений в грунтовом основании и осадки перекрестно-балочного фундамента при изменении угла наклона основания.

3. Определить особенности перераспределения нормальных контактных давлений под подошвой перекрестно-балочного фундамента на наклонном основании.

4. Обосновать выбор модели грунтового основания и разработать методику расчета ординат эпюры нормальных контактных давлений под подошвой фундамента.

5. Разработать методику расчета прочности балок фундамента, учитывающую перераспределение контактных давлений под подошвой фундамента и реальную схему работы конструкции, позволяющую более точно определять прочность фундаментов, чем существующие методики.

Научная новизна работы: состоит в уточнении расчетной модели взаимодействия перекрестно-балочных фундаментов с наклонным основанием на основе наиболее полного учета его напряженно-деформированного состояния, а именно:

- экспериментально выявленные особенности взаимодействия перекрестно-балочных фундаментов с наклонным основанием, выражающиеся в изменении коэффициентов жесткости основания и его осадок в процессе нагружения наклонного основания;

- расчетная модель определения ординат эпюры нормальных контактных давлений под подошвой фундамента с учетом изменяющегося по длине балки фундамента коэффициента жесткости и изменяющейся формой эпюры, учитывающая угол наклона основания;

- алгоритм расчета перекрестно-балочных фундаментов по прочности с учетом перераспределения контактных давлений под подошвой фундамента и диаграмм деформирования бетона и арматуры фундамента.

Практическая значимость работы заключается в развитии инженерных методов расчета перекрестно-балочных фундаментов с учетом новых подходов к определению эпюры контактных давлений под подошвой фундамента в наклонном основании, а также реального деформирования бетона фундамента на основе наиболее полного учета его напряженно-деформированного состояния. Методика расчета позволяет определять расчетным путем нормальные контактные давления

совместно с напряженно-деформированным состоянием бетона и арматуры перекрестных фундаментов при любом угле наклона основания и любом уровне загрузки конструкции, и соответственно более точно оценить условия взаимодействия системы «основание-фундамент» при проектировании, а также обследовании зданий и сооружений перед реконструкцией.

Методология и методы исследования.

Основные методы исследования, принятые в соответствии с задачами работы: натурные (физические) и численные компьютерные эксперименты, теоретический анализ и синтез, математическое моделирование, метод сравнения и др.

На защиту выносятся:

- результаты модельных экспериментальных исследований взаимодействия перекрестно-балочных фундаментов с наклонным грунтовым основанием;
- выявленные закономерности трансформации эпюры нормальных контактных давлений в зависимости от угла наклона основания под подошвой перекрестно-балочных фундаментов на склонах;
- модель грунтового основания с переменным коэффициентом жесткости и изменяемой, в зависимости от угла наклона основания, формой эпюры контактных давлений;
- расчетная модель напряженно-деформированного состояния фундамента при его взаимодействии с наклонным основанием;
- алгоритм и методика расчета перекрестно-балочных фундаментов по прочности с учетом уточненной модели грунтового основания, учитывающей перераспределения давлений в контактной зоне под подошвой при упруго - пластическом деформировании наклонного основания;

Личный вклад соискателя состоит в его участии на всех этапах процесса:

- непосредственном участии соискателя в получении исходных данных, разработке экспериментальных стендов и методики испытаний, модельных экспериментах по исследованию и установлению особенностей взаимодействия перекрестно-балочных фундаментов с наклонным основанием; выявлении перераспределения нормальных контактных давлений под подошвой фундамента в процессе нагружения;
- личном участии автора в обработке и интерпретации экспериментальных данных, в усовершенствовании расчётной модели грунтового основания с переменным коэффициентом жесткости, изменяемом в зависимости угла наклона основания и НДС наклонного основания, в разработке алгоритма и методике расчета прочности перекрестно-балочных фундаментов с учетом уточненной модели грунтового основания, учитывающей перераспределения давлений в контактной зоне под подошвой при упруго - пластическом деформировании наклонного основания;
- в апробации результатов исследования и сопоставительном анализе результатов, полученных по методике автора и по нормативной методике с опытными данными;

- в подготовке и написании основных публикаций по выполненной работе (3 работы в полном объеме выполнено лично автором; 12 – в соавторстве, из них 50% текста принадлежит автору).

Степень достоверности результатов. Достоверность полученных результатов обеспечена использованием общепринятых методик экспериментальных исследований, применением расчетных зависимостей теорий строительной механики, механики грунтов и механики железобетона, хорошей сходимостью результатов расчета с результатами, полученными в ходе экспериментальных исследований.

Апробация результатов работы. В полном объеме работа была доложена и одобрена на объединенном заседании кафедр «Строительных конструкций», «Геотехники и конструктивных элементов зданий», «Механики и сейсмостойкости сооружений», «Строительного инжиниринга и материаловедения», «Технологии, организации и управления строительством» Академии строительства и архитектуры Федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Крымский федеральный университет имени В.И. Вернадского» 12.10.2017 г.

Результаты работы доложены и обсуждены на следующих международных научно-практических конференциях:

- на Всеукраинской научно – практической конференции "Геостойкое строительство", 27-28 окт. 2011г., г. Симферополь;
- на VI-ой Международной научно-технической конференции "Энергия" (Симферополь, Алушка, Люблин, Киев, Львов сентябрь 2012 г.);
- на IX-ой международной научно-практической конференции "Геометрическое и компьютерное моделирование, энергосбережение, экология, дизайн" (Симферополь-Судак, октябрь 2012 г.);
- на XXII, XXIII, XXIV, XXVI, Международных научных школах им. академика С.А. Христиановича (Алушта, сентябрь 2012,2013,2014,2016 гг.);
- на международной научно-технической конференции " Проблемы теории и практики строительных конструкций" (15–17 апреля 2013 г., г. Одесса, ОГАСА);
- I Международный научный конгресс «Энергосбережение и информационные технологии «ES@IT-2013» 16-22 сентября 2013 года, г. Симферополь – г. Люблин – г. Харьков – г. Евпатория;
- I Крымская международная научно-практическая конференция «Энерго - ресурсосбережение и экологическая безопасность», 29 сентября – 4 октября 2014 г., г. Симферополь – г. Судак;
- II Крымская международная научно-практическая конференция «Методология энерго-ресурсосбережения и экологической безопасности», 28 сентября – 2 октября 2015 г., г.Симферополь – г.Судак.
- III Крымская международная научно-практическая конференция «Безопасность среды жизнедеятельности», 26 сентября – 30 сентября 2016 г., г.Симферополь – г.Судак.
- Научно-практический семинар «Геотехнический анализ при расчетах надземных конструкций с применением программного комплекса MIDAS GTX

НХ» в ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет» 14 ноября - 18 ноября 2016 г.

Ежегодных научно-технических конференциях профессорско-преподавательского состава, студентов и аспирантов Национальной академии природоохранного и курортного строительства (г. Симферополь) 2012-2014 гг. и Академии строительства и архитектуры Крымского федерального университета им. В.И.Вернадского (г. Симферополь), 20.10.2015 г; 27.10.2016 г.

Внедрение результатов исследования.

Результаты исследования внедрены: в проект реконструкции поликлиники в г. Симферополь проектной компанией ООО «Стальпроект»; при разработке проекта фундаментов рекреационного комплекса в пгт. Мисхор предприятием ООО «Крымпроектинжиниринг»; при оценке несущей способности перекрестных фундаментов существующего склада в г. Джанкой компанией ООО «Гранд Конструктив»; в цикл лекций и практических занятий по дисциплине «Здания сооружения на сложном рельефе», читаемой по программе подготовке бакалавров по укрупненной группе специальностей 08.00.00 – «Техника и технологии строительства», направление 08.03.01 «Строительство» профиль «Промышленное и гражданское строительство»; в циклы лекций и практических занятий по дисциплинам «Здания и сооружения курортно-рекреационной застройки», «Фундаментостроение в сложных инженерно-геологических условиях», «Фундаменты зданий и сооружений для условий строительства КФО», «Исследование и проектирование конструкций, зданий и сооружений для сложных инженерно-геологических условий Черноморского побережья РФ», читаемых по программе подготовке магистров по укрупненной группе специальностей 08.00.00 – «Техника и технологии строительства», направление 08.04.01 «Строительство».

Материалы и результаты диссертации использовались при написании трех магистерских работ по направлению 08.04.01 «Строительство» в Академии строительства и архитектуры КФУ им. В.И. Вернадского и одной в Воронежском государственном техническом университете.

Структура и объем диссертации.

Диссертация состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы (186 наименований), и 5 приложений. Общий объем работы составляет 184 печатных страниц, включая 67 рисунков, 11 таблиц и 5 приложений.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении указана актуальность темы, степень ее разработанности, цели и задачи исследования, научная новизна, теоретическая и практическая значимость работы, методология и методы диссертационного исследования, положения, выносимые на защиту, степень достоверности и апробация результатов.

В первой главе рассматривается современное состояние изученности проблемы определения нормальных контактных давлений перекрестно-балочных фундаментов. Исследованиями взаимодействия фундаментов с грунтовым основанием занимались многие отечественные и зарубежные ученые (Е.В.

Башкиров, Н.И. Безухов, А.Н. Богомолов, А.В. Вронский, М.Н. Гольдштейн, Ю.В. Гольшев, М.И. Горбунов-Посадов, С.В. Довнарвич, Б.И. Долматов, В.П. Дыба, С.И. Евтушенко, М.В. Егоров, Ю.К. Зарецкий, В.А. Ильиных, М.Т. Кенесбаев, П.А. Коновалов, К.К. Куликов, Е.Н. Курбацкий, Г.Е. Лазебник, В.В. Леденев, И.Я. Лучковский, Ю.Н. Мурзенко, В.Г. Офрихтер, А.И. Полищук, О.С. Садаков, В.Ф. Седорчук, Е.А. Синицин, Г.М. Скибин, Е.А. Сорочан, А.А. Смирнов, А.А. Теняков, А.З. Тер-Мартirosян, З.Г. Тер-Мартirosян, Б.Л. Фаянс, Фрайфельд, Р.Р. Хасанов, А.А. Цесарский, В.Г. Шаповал, В.П. Шумовский, С.И. Яковлев и др. Однако, исследований работы фундаментов на наклонном основании значительно меньше (Б.Ю. Барыкин, А.М. Лехно, А.Н. Тетиор и др.).

На основании изучения и анализа данных работ можно отметить, что особенности взаимодействия перекрестно-балочных фундаментов с наклонным грунтовым основанием, учитывающие не только влияние физико-механических характеристик грунта, но и угла наклона основания остаются малоизученными. Отсутствуют методики расчета действительной эпюры контактных давлений в основании под такими фундаментами с учетом их перераспределения и применении ее к определению прочности конструкции.

Вопросами расчета прочности железобетонных конструкций, в том числе фундаментов, посвящены работы отечественных и зарубежных учёных В.Е. Бабича, В.Н. Байкова, А.М. Бамбуры, В.М. Бондаренко, С.В. Бондаренко, А.А. Гвоздева, Ю.П. Гущи, М.И. Додонова, В.С. Дорофеева, А.А. Дыховичного, А.С. Залесова, О.Ф. Ильина, Л.Л. Лемыша, Н.И. Карпенко, С.Н. Карпенко, В.И. Колчунова, Д.Н. Лазовского, Т.А. Мухамедиева, Б.С. Расторгуева, М.А. Сапожникова, В.С. Федорова и др., Ле Ф. Леонгард, L.Saennz, ЕКБ, В.Sinha, P.Desayi, S.Krisnuan, K.Gerstle, L.Tulin, Kabeila и мн. др.

Это обосновывает актуальность проведённых в работе исследований с целью совершенствования расчета нормальных сечений с учетом диаграммы состояния бетона сжатой зоны для продольных балок фундамента. Анализ литературы показал, что наиболее близкими по форме к экспериментальным является теоретическая диаграмма бетона сжатой зоны, полученная и обоснованная автором, которая и принята в качестве расчетной. Однако проблема учёта ниспадающей ветви для перекрестно-балочных фундаментов существует и, как показал анализ результатов уже выполненных исследований, она может быть решена в дальнейшем при проведении дополнительных экспериментов.

Выполненный анализ состояния вопроса позволил сформулировать цель исследований и поставить задачи для её достижения.

Во второй главе выбраны направления экспериментальных исследований, выполнены физические эксперименты и проведен анализ полученных результатов.

В ходе планирования эксперимента определены варьируемые углы наклона основания для оценки особенностей взаимодействия перекрестно-балочных фундаментов с грунтовым основанием. Разработана методика проведения экспериментов. Приняты и обоснованы: конструктивные решения опытных образцов перекрестно-балочных фундаментов, необходимый набор измерительных приборов и оборудования для нагружения фундаментов.

Испытания проводились в специально сконструированном прямоугольном грунтовом лотке размерами 800x500x600 мм одна из стенок которого выполнена из закаленного стекла толщиной 10мм. Фундамент моделировался тремя типами металлических штампов различного сечения:

- штамп в виде перекрестного фундамента из двух продольных и трех поперечных балок сечением 25x25 мм;
- штамп в виде перекрестного фундамента из двух продольных и трех поперечных балок сечением 40x30 мм;
- штамп в виде перекрестного фундамента из двух продольных и трех поперечных балок сечением 60x30 мм. Модель упиралась в удерживающую конструкцию, смоделированную посредством металлического швеллера №10, связанного жестко с рамой лотка и не имеющего возможность перемещаться и деформироваться. Схема экспериментальной установки показана на рисунке 1.

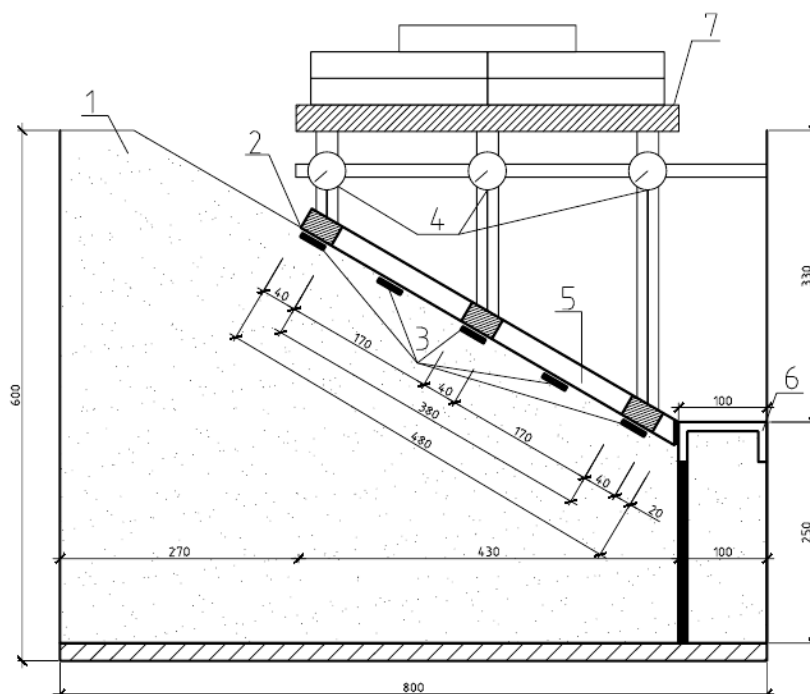


Рисунок 1 - Схема экспериментальной установки:

- 1- наклонное основание; 2- поперечная лента фундамента; 3- месдозы; 4- индикаторы часового типа ИЧ;
5- продольная лента фундамента; 6- удерживающая конструкция; 7- нагрузочная платформа.

Материалом модели грунтового основания в проведенной серии экспериментов служила смесь, состоящая из 95% мелкого кварцевого песка и 5% веретенного масла по весу. Как показали испытания, этот материал очень удобен для испытаний оснований, так как в нем быстро затухают деформации ползучести после приложения очередной ступени нагрузки. Загрузка эквивалентного материала в лоток производилась слоями толщиной 50 мм с их уплотнением. Были сформированы три основных склона с углами наклона основания соответственно $\alpha = 0^\circ; 15^\circ$ и 30° . Осадки модели измерялись посредством индикаторов часового типа

ИЧ с ценой деления 0,01 мм в местах приложения нагрузки. Индикаторы устанавливались на отдельные опоры вне лотка и производили замеры осадок в шести опорных точках. Контактные давления измерялись при помощи месдоз диаметром 27 мм, предназначенных для применения в лабораторных условиях, установленных в местах пересечения продольных и поперечных балок фундамента, а также между ними.

Загружение модели осуществлялось штучными грузами ступенями по 4 - 15 кг в зависимости от размеров штампа. Выдержка на каждой ступени необходимая для стабилизации деформаций штампа составляла $t = 10$ мин.

Всего было проведено 9 серий модельных испытаний при соответствующих углах наклона. Каждая серия включала в себя пять опытов при одинаковых условиях. Фиксация показания для обработки осуществлялась при следующих уровнях загрузки $F = 0; 0,25; 0,5; 0,75; 1,0 F_p$. Далее приведем результаты экспериментов со штампом сечением 40x30 мм, поскольку основные закономерности сохраняются и для других моделей.

На основании проведенных экспериментов были получены графики зависимости осадки крайних опор штампа от контактных давлений под этими же опорами $S = f(P)$ при различных углах наклона основания (рисунок 2), а также графики изменения осадок продольных балок фундамента в зависимости от относительной длины при изменении уровня внешней нагрузки (рисунок 3).

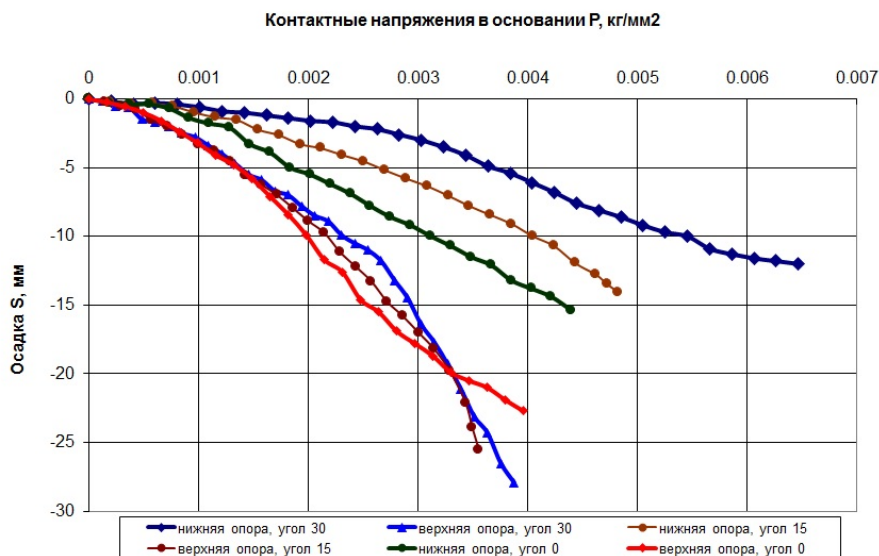


Рисунок 2 - Графики зависимости осадок крайних опор фундамента $S = f(P)$ на горизонтальном основании при $\alpha = 0^\circ$ и на наклонном основании при $\alpha = 15^\circ$ и $\alpha = 30^\circ$.

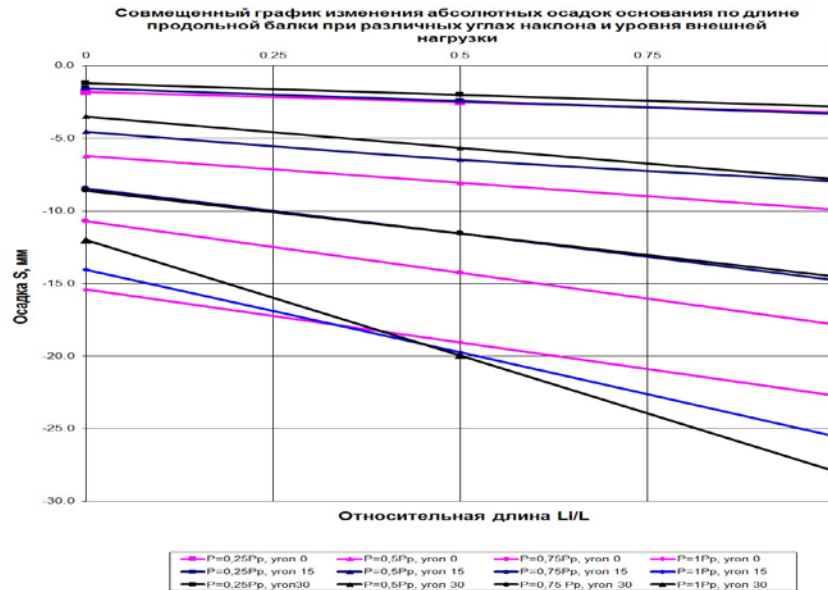


Рисунок 3 - Графики зависимости $S = f(L_i / L)$ на горизонтальном при $\alpha = 0^\circ$ и наклонном основании при $\alpha = 15^\circ$ и $\alpha = 30^\circ$;

Анализ полученных результатов показывает, что при увеличении угла наклона основания с 0° до 30° происходит увеличение вертикальной нагрузки в 1,3 раза. Но при этом нормальная составляющая нагрузки отличается друг от друга не более чем на 7-8%.

Поведение фундамента характеризуется особенностями изменения осадок опор и контактных давлений под нагрузкой. Они имеют неравномерный характер. Так осадки опор у удерживающей конструкции существенно ниже, чем верхней опоры. Их соотношение в предельном состоянии основания равно $S_1 / S_2 = 0,68$ при $\alpha = 0^\circ$, $S_1 / S_2 = 0,55$ при $\alpha = 15^\circ$, при $\alpha = 30^\circ$ $S_1 / S_2 = 0,43$. Это связано с влиянием жесткой не смещаемой шероховатой стены удерживающей конструкции, т.е. присутствием сил трения грунта по ее поверхности, которые затухают по мере удаления от стены. Разница в контактных давлениях во всем диапазоне нагружения также существенна. Неравномерный характер распределения контактных давлений в наибольшей степени проявляется в предельном состоянии основания, в котором их соотношение под крайними опорами составило: $P_1 / P_2 = 1,11$ при $\alpha = 0^\circ$; $P_1 / P_2 = 1,35$ при $\alpha = 15^\circ$ $P_1 / P_2 = 1,67$ при $\alpha = 30^\circ$. Давления выше у удерживающей конструкции, хотя осадки в этой зоне меньше. В предельном состоянии основания эпюра распределения контактных давлений под опорами на горизонтальном основании имеет трапецевидный характер, что видно на рисунке 4.

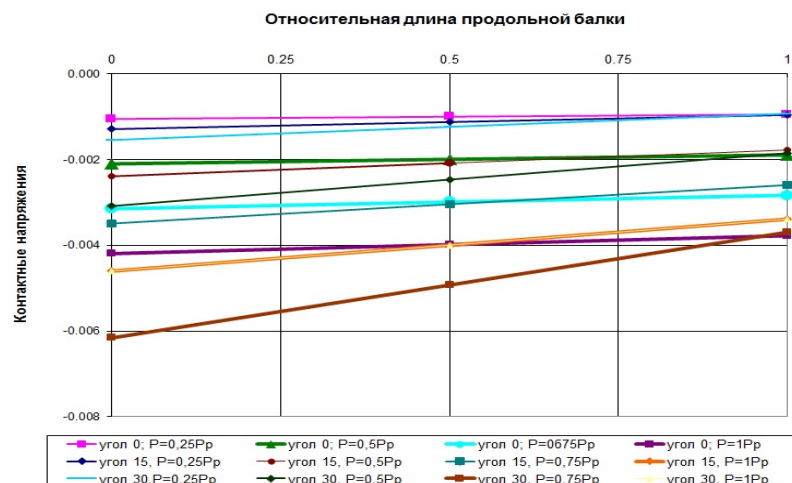


Рисунок 4 - Изменение эпюр контактных давлений в основании в зависимости от угла наклона основания и внешней нагрузки

При увеличении угла наклона основания от 0° до 30° изменяются в сторону уменьшения соотношения осадок противоположных опор в 1,6 раза, при этом соотношения контактных давлений увеличиваются в 1,5 раза. На основании вышеизложенного можно сделать вывод о том, что с увеличением угла наклона основания меньшим осадкам, которые возникают у удерживающей конструкции, соответствуют большие давления в основании. И наоборот, в наиболее удаленной от удерживающей конструкции точке основания большим осадкам соответствуют меньшие давления. Это обусловлено существенным уменьшением влияния на величины осадок нормальной составляющей вертикальной нагрузки на фундамент, вследствие роста угла наклона основания. При этом растет влияние сдвигающей силы от вертикальной нагрузки, которая увеличивается с ростом угла наклона основания. Она существенно увеличивает силу трения на контакте с удерживающей конструкцией и соответственно препятствует развитию деформаций в грунтовом основании. Кроме того, происходит уплотнение грунта в зоне контакта с удерживающей конструкцией. Грунт в этой зоне находится в необычном напряженном состоянии. Его деформации и перемещения ограничиваются с одной стороны удерживающей конструкцией, с другой стороны фундаментом и с третьей стороны грунтом наклонного основания, который перемещается под воздействием поворота фундамента вокруг точки сопряжения наклонной фундаментной балки и удерживающей конструкцией.

Из анализа экспериментальных данных выявлен характер изменения осадок по длине фундаментных балок в направлении склона, подчиняющийся линейному закону.

Изменение коэффициентов жесткости основания в зависимости от внешней нагрузки и соответствующей осадки, полученные экспериментальным путем, приведены на рисунке 5.

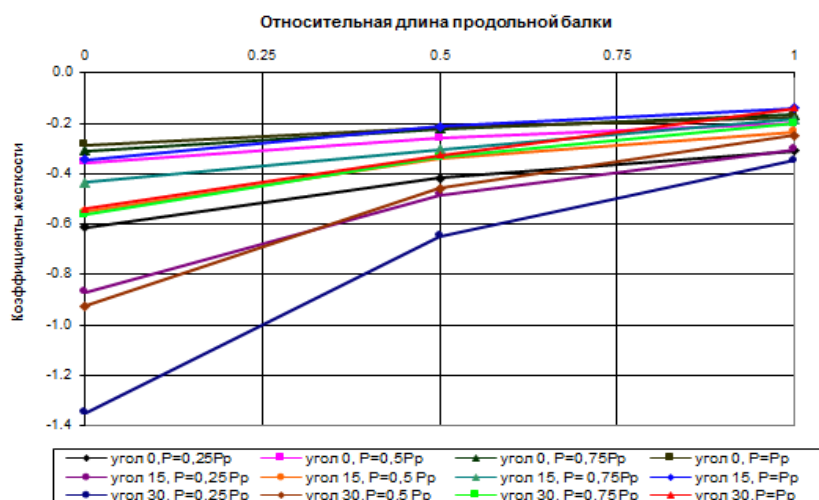


Рисунок 5 - Графики изменения коэффициентов жесткости наклонного основания $K = f(L_i / L)$ при различных углах наклона основания и уровне загрузки

Результаты испытаний показывают, что при незначительном уровне внешнего нагружения в опытах до $0,25P_p$ коэффициенты жесткости на горизонтальном основании практически равны между собой. Соотношение крайних значений в этом случае составляет 1,03. При увеличении угла наклона неравномерность коэффициентов жесткости основания возрастает и достигает при угле наклона 15° - $K_1 / K_2 = 1,23$, для угла 30° - $K_1 / K_2 = 1,48$. При дальнейшем увеличении нагрузки вплоть до разрушения основания $P = P_p$ и росте угла наклона основания до 30° эта неравномерность увеличивается и достигает при угле 0° - $K_1 / K_2 = 1,4$; при угле 15° - $K_1 / K_2 = 2,25$; при угле 30° - $K_1 / K_2 = 4,53$. K_1 - коэффициент жесткости основания под опорой у удерживающей конструкции, K_2 - коэффициент жесткости основания под опорой, наиболее удаленной от удерживающей конструкции. Таким образом, эпюры распределения коэффициентов жесткости приобретает характер трапеции с максимальной ординатой у удерживающей конструкции. При этом по абсолютному значению соотношение коэффициентов жесткости между собой существенно возрастет только для первой опоры. В этом случае $K_1^{30} / K_1^0 = 1,71-1,89$. Для второй опоры $K_2^{30} / K_2^0 = 1,19-0,8$. Это обусловлено на наш взгляд тем, что грунт около удерживающей конструкции меняет свои характеристики, становясь более плотным за счет ограниченного перемещения по горизонтали.

Для использования результатов экспериментов в расчетной практике необходимо перейти от абсолютных показаний к относительным величинам коэффициентов жесткости основания δK . При этом за относительный коэффициент жесткости в этом случае принимается соотношение

$$\delta K_i = K_i^\alpha / K_2^0$$

$$K_2^0 = P_2^0 / S_2^0$$

где K_i^α – коэффициент жесткости основания в любой i -ой точке под подошвой фундамента при угле наклона основания равным α ; K_2^0 – коэффициент жесткости основания под крайней точкой продольной фундаментной ленты, расположенной горизонтально, которая наиболее удалена от удерживающей конструкции; P_2^0 – краевое контактное давление под этой же точкой; S_2^0 – осадка данной точки фундамента. Для определения осадки S_0^2 рекомендуется уточненный метод послойного суммирования, изложенный в СП 22.13330.2011.

По данным эксперимента получена соответствующая таблица 1, связывающая относительные коэффициенты $\delta K = f(\alpha / \varphi; L_i / L)$.

Таблица 1 - Значения коэффициентов δK в зависимости от уровня нагружения, относительного угла наклона основания и относительной длины.

	P=0.04P _p			P=0.25P _p			P=0.5P _p			P=0.75P _p			P=1P _p		
	α/φ			α/φ			α/φ			α/φ			α/φ		
L_i/L	0	0.5	1	0	0.5	1	0	0.5	1	0	0.5	1	0	0.5	1
0	-1.03	-1.19	-1.77	-1.98	-2.09	-4.35	-1.77	-2.23	-4.62	-1.85	-2.15	-3.38	-1.64	-1.6	-3.1
0.5	-0.98	-1.22	-1.41	-1.35	-1.61	-2.09	-1.3	-1.94	-2.29	-1.32	-2.02	-2.01	-1.26	-1.23	-1.5
1	-1	-1.01	-1.19	-1	-1.35	-1.12	-1	-1.66	-1.24	-1	-1.78	-1.2	-1	-1	-0.8

На основании полученных δK при каждом уровне нагружения строится объемная эпюра изменения δK_i , поверхность которой разбивается на несколько расчетных плоскостей, имеющих следующее уравнение в общем виде:

$$A \frac{L_i}{L} \pm B \frac{\alpha}{\varphi} \pm C \delta K \pm D = 0$$

где A, B, C – коэффициенты плоскости, вычисленные по координатам точек плоскости в зависимости от L_i / L и α / φ взятых из таблицы 1 при соответствующем уровне внешней нагрузки.

При этом угол внутреннего трения грунта φ не должен превышать 35° . Это ограничение вызвано заданными параметрами моделирования основания.

В третьей главе разработана методика расчета эпюры нормальных контактных давлений под подошвой перекрестно-балочных фундаментов на наклонных основаниях с использованием модели основания Винклера с переменным коэффициентом жесткости.

Используется метод упругих решений, предложенного А.А. Ильюшиным, где нелинейная задача сводится к последовательности линейно-упругих задач в результате применения процесса последовательных приближений.

Расчетная схема фундамента представлена на рисунке 6.

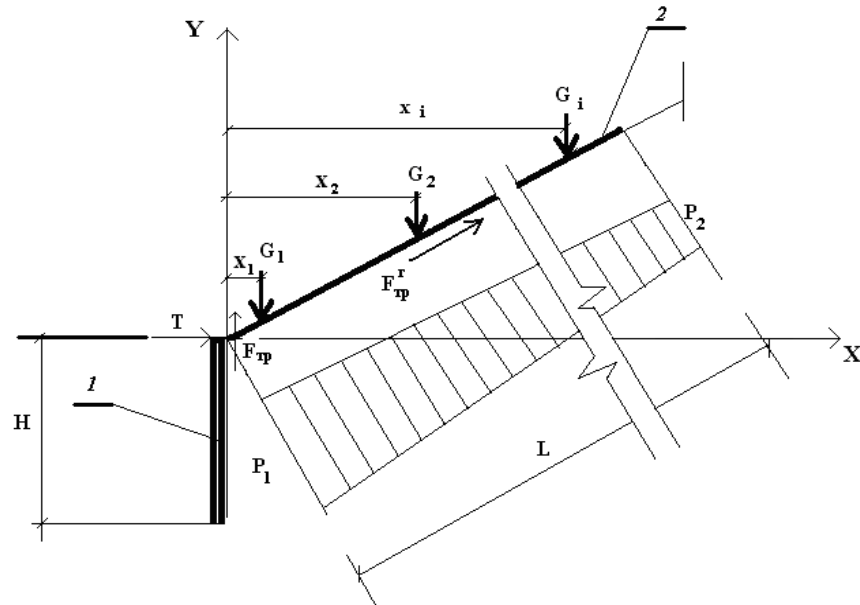


Рисунок 6 - Общая расчетная схема наклонной фундаментной балки на склоне
1- удерживающая конструкция; 2- фундаментная продольная балка

Рассматривается трапециевидная эпюра контактных давлений с максимальной ординатой P_1 под нижней опорой перекрестного фундамента и минимальной P_2 - под верхней.

Особенностью работы узлового соединения является появление в месте контакта балки с удерживающей конструкцией от действия сдвигающего усилия

$N_{tot} = \sum_{i=1}^n N_i$, направленного вдоль склона, двух сил: $T = \sum_{i=1}^n N_i \cos \alpha$ (1) горизонтальной

реакции опоры и силы трения $F_{mp} = \sum_{i=1}^n N_i \cos \alpha f_{mp}^{\delta}$ (2).

На контакте грунта и фундаментной балки даже при малых перемещениях удерживающей конструкции будет возникать сила трения, которая в первом приближении распределяется под подошвой равномерно. Тогда она определится по следующей зависимости

$$F_{mp}^z = \sum_{i=1}^n G_i \times \cos \alpha \times f_{mp}^z \quad (3)$$

Рассмотрим уравнения равновесия всех сил, действующих на балку, при проецировании их на местные координатные оси OY^a и OX^a и уравнение моментов относительно точки О.

$$\sum X^a = T \times \cos \alpha + F_{mp}^z + F_{mp}^{\delta} \times \sin \alpha + \sum_{i=1}^n G_i \times \sin \alpha = 0 \quad (4)$$

$$\sum Y^a = \sum_{i=1}^n G_i \times \cos \alpha + \sum_{i=1}^n G_i \times \cos \alpha \times \sin^2 \alpha - \sum_{i=1}^n G_i \cos^2 \alpha \sin \alpha \times f_{mp}^{\delta} - \frac{P_1 + P_2}{2} \times L \times b = 0 \quad (5)$$

$$\sum M_o = \sum_{i=1}^n G_i \cos \alpha \times x_i - \frac{P_1 + P_2}{2} \times L \times b \times \left[L - \frac{L}{3} \left(\frac{2P_1 + P_2}{P_2 + P_1} \right) \right] = 0 \quad (6)$$

Исходя из условий применения модели основания получим дополнительное условие

$$\frac{P_1}{P_2} = \frac{K_1^\alpha S_1^\alpha}{K_2^\alpha S_2^\alpha} \quad (7)$$

где K_1^α, S_1^α - соответственно коэффициент жесткости и осадка основания в нижней точке склона на контакте балки и удерживающей конструкции при угле наклона основания α ; K_2^α, S_2^α - соответственно коэффициент жесткости и осадка основания под верхней точкой фундаментной балки при угле наклона основания α .

Из уравнений (4 - 7) получим выражения для определения характеристик эпюры

$$P_1 = 2 P_{cp}^* \Delta K \quad (8)$$

$$P_2 = 2 P_{cp}^* (1 - \Delta K) \quad (9)$$

где $\Delta K = \frac{K_1^n}{K_1^n + K_2^n \delta_s}$ (13), - коэффициент определяющий соотношение граничных коэффициентов жесткости основания на начальных этапах нагружения конструкции, $P_{cp}^* = \frac{P_1 + P_2}{2}$ - среднее давление под подошвой фундамента; δ_s - коэффициент, учитывающий неравномерность распределения осадок по длине склона. Коэффициент δ_s меняется в зависимости от угла наклона основания от 1,47 при $\alpha = 0$ до 3,31 при $\alpha = 45^\circ$.

Решая уравнение (5) относительно ΔK определим общую формулу для его нахождения:

$$\Delta K = \frac{0,66 P_{cp} L^2 b - \sum_{i=1}^n G_i \cos \alpha x_i}{0,33 \times P_{cp} L^2 b} = 2 - \frac{3 \times \sum G_i \cos \alpha x_i}{P_{cp} L^2 b} \quad (10)$$

Используя выражение (10) в первом приближении по формулам (8) и (9) определяются краевые контактные давления P_1 и P_2 для трапецевидной эпюры и окончательно получают расчетную трапецевидную не перераспределенную эпюру контактных давлений в основании под наклонной балкой фундамента.

Коэффициенты жесткости основания в расчетных точках определяются по методике, изложенной в главе 2.

Предполагая, что перераспределение контактных давлений связано как с деформациями фундаментных балок, так и с деформациями основания, коэффициенты перераспределения будут определяться в опорных и пролетных расчетных сечениях балок по следующим зависимостям:

$$\text{- для крайней снизу опоры } \Delta p_{sup}^I = K_{sup}^I f_I \quad (11)$$

$$\text{- для всех средних опор } \Delta p_{sup}^i = \omega K_{sup}^i (f_i + f_{i+1}) \quad (12)$$

$$\text{- для всех пролетных сечений } \Delta p_{sp}^i = K_{sp}^i f_i; \quad (13)$$

$$\text{- для крайнего верхнего опорного сечения } \Delta p_{sup}^i = \omega K_{sup}^i (f_i + f_{конс}); \quad (14)$$

$$\text{- для верхней консоли } \Delta p_{конс}^i = K_{сп}^i f_{конс} \quad (15)$$

где f_i, f_{i+1} - прогибы ниже и выше расположенных продольных балок ленты; $f_{конс}$ - прогиб консоли ленты, расположенной в верхней части склона; ω -

коэффициент, учитывающий разность прогибов балок продольной ленты фундамента, при регулярной структуре фундамента $\omega = 0,5$.

Коэффициенты перераспределения увеличивают опорные ординаты трапецевидной эпюры контактных давлений и уменьшают пролетные. Внешний вид эпюры под i -ой балкой представлен на рисунке 7.

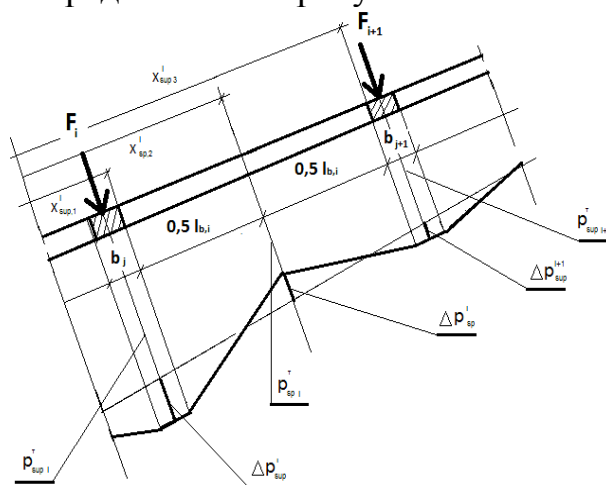


Рисунок 7 - Расчетная эпюра контактных давлений

После этого, используя метод последовательных приближений и задаваясь в расчетных сечениях новыми контактными давлениями, проводится аналогичный расчет, т.е. определяются новые уточненные осадки и коэффициенты жесткости основания.

Процедуру подбора и перерасчета повторяют до тех пор, пока не будет соблюдаться условие

$$\varepsilon = \frac{p_{sup,sp}^n - p_{sup,sp}^{n+1}}{p_{sup,sp}^n} \leq 0,05 \quad (16)$$

где $p_{sup,sp}^n$ – давление в основании на предыдущем этапе итераций; $p_{sup,sp}^{n+1}$ – тоже на последнем этапе итерации.

Для проверки достоверности данного алгоритма был проведен расчет эпюр контактных давлений под фундаментом из перекрестных лент на песчаном склоне и сравнение полученных результатов с данными экспериментов, приведенных в работе Барыкина Б.Ю. Также аналогичный фундамент был рассчитан с помощью численного моделирования в геотехнической программе «Plaxis 2D».

Рассмотрены результаты определения контактных давлений под подошвой пяти перекрестно-балочных крупномасштабных образцов фундаментов при углах наклона основания $\alpha = 0^\circ; 17^\circ; 25^\circ; 34^\circ; 45^\circ$. Сопоставительный анализ показал, что предлагаемая инженерная методика получения эпюры контактных давлений в основании с учетом действительных деформаций полностью адекватна и учитывает особенности деформирования такого типа фундаментов на наклонных основаниях. Расхождения между экспериментальной эпюрой и теоретической составило в среднем не более 19%, что вполне приемлемо для практических инженерных задач.

В четвертой главе на основании обработки экспериментальных данных разработана методика расчета прочности перекрестно-балочных фундаментов на склонах при совместном действии изгибающих моментов и продольных сил на основе деформационной модели.

Расчетная схема нормальных сечений представлена на рисунке 8, на котором представлены расчетные опорные и пролетные сечения продольной ленты фундамента и усилия, действующие в ней от соответствующих контактных давлений в грунтовом основании.

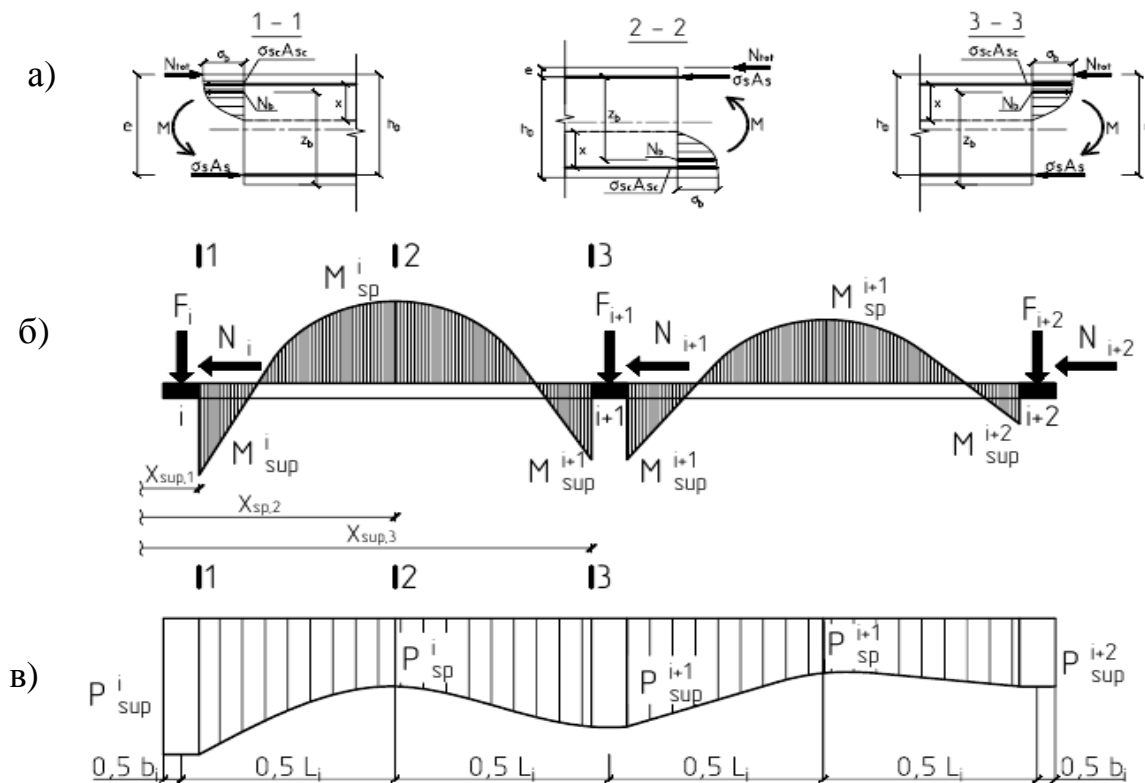


Рисунок 8 - Расчетная схема продольной наклонной ленты фундамента:
а - расчетные сечения; б - эпюра изгибающих моментов; в - эпюра нормальных контактных давлений.

Расчет прочности нормальных сечений продольных балок перекрестных фундаментов производится с использованием следующих допущений:

- уравнения, которые устанавливают соотношения между деформациями бетона сжатой зоны и растянутой арматуры, формируются исходя из линейного закона распределения, т.е. строятся на основе гипотезы плоских сечений. Растянутый бетон из расчета исключается;

- связь между напряжениями σ_b в сжатом бетоне и его деформациями ε_b устанавливается исходя из параметров билинейной диаграммы состояния со следующими характеристиками:

$$\text{при} \quad 0 \leq \varepsilon_b \leq \varepsilon_{b,l} \quad \sigma_b = \varepsilon_b E_b \quad (17)$$

при $\varepsilon_{b,l} \leq \varepsilon_b \leq \varepsilon_{b,u}$ (18)

$$\sigma_b = \frac{\varepsilon_b E_b (1 - K \beta \bar{\nu}_{pl})}{(1,2 - K) + \varepsilon_b \frac{E_b}{R_{bn}} (1 - \beta \bar{\nu}_{pl})}$$

где $\varepsilon_{b,l} = K R_{bn} / E_d$ – максимальные упругие деформации бетона; $\varepsilon_{b,u}$ – предельные деформации бетона сжатой зоны при внецентренном сжатии; E_b – начальный модуль деформации бетона.

$K = 0,3$ – уровень напряжений, до которого сжатый бетон работает упруго; $\bar{\nu}_{pl}$ – коэффициент упругости бетона сжатой зоны при $\sigma_b = R_{bn}$, β – понижающий коэффициент, учитывающий нелинейный характер работы бетона сжатой зоны для сжато-изогнутых балок фундамента. Для бетонов класса В20-В30 по уточненным данным можно принимать $\bar{\nu}_{pl} = 0,5$, $\beta = 0,4$.

Тогда деформации бетона соответственно выразятся

$$\varepsilon_b = \frac{(1,2 - K) \eta R_{bn}}{E_b [(1 - \beta K \bar{\nu}_{pl}) - \eta (1 - \beta \bar{\nu}_{pl})]}, \quad (19)$$

где $\eta = \frac{\sigma_b}{R_{bn}}$ – уровень напряжений в сжатой зоне бетона продольных балок фундамента. Формула (19) применима при $\varepsilon_b > \varepsilon_{b,l}$.

- связь между напряжениями σ_s и деформациями ε_s арматуры описывается идеализированной диаграммой Прандтля с условиями, что до достижения напряжениями расчётного сопротивления R_{sn} описывается уравнением закона Гука. При значениях $\sigma_s > \varepsilon_s$ арматура деформируется беспрепятственно т.е.

$$\text{при } 0 \leq \varepsilon_s < \varepsilon_{s1} \quad \sigma_s = \varepsilon_s E_s; \quad (20)$$

$$\text{при } \varepsilon_{s1} \leq \varepsilon_s < \varepsilon_{s2} \quad \sigma_s = R_{sn}; \quad (21)$$

- условия равновесия внутренних и внешних усилий

$$\sum N = N_b + N_s + N_{tot} = 0 \quad (22)$$

$$\sum M = M_b(M_s) + M_N + M = 0 \quad (23)$$

В этих уравнениях приняты следующие обозначения:

N_b – равнодействующая в бетоне сжатой зоны;

N_s – равнодействующая в растянутой арматуре;

N_{tot} – внешняя продольная сила от веса здания, сооружения;

$M_b = N_b Z_b$ – момент равнодействующей в сжатом бетоне относительно центра тяжести растянутой арматуры;

Z_b – плечо внутренне пары сил;

M – изгибающий момент в сечении балки, определяемый из расчета системы перекрестных фундаментных балок с учетом перераспределенной эпюры контактных давлений;

$M_N = N_{tot} e$ – изгибающий момент от силы N_{tot} ;

e – эксцентриситет действия силы N_{tot} относительно растянутой арматуры.

- контактные давления в расчетных сечениях балки находятся с учетом перераспределения.

Задача сводится к определению всех компонентов напряженно-деформированного состояния расчетного нормального сечения фундамента и к нахождению его несущей способности в зависимости от уровня напряжений в сжатой зоне бетона η и полностью перераспределенной эпюры контактных давлений в наклонном основании.

Для расчета предложен следующий алгоритм:

1. Задаются исходные данные: геометрические размеры b, h, h_0 ; данные по армированию $\mu_s; a_s$; расчетные и нормативные характеристики материалов $R_b, R_{bn}, E_b, E_s, R_s$.

2. Определяются показатели для расчета НДС нормальных сечений фундамента:

– задаются значения уровня напряжений в наиболее сжатой фибре сжатой зоны балок $\eta = 0 \dots 1,2$ с шагом $\Delta\eta = 0,05$;

– определяется расчетное соотношение ΔM между суммарным изгибающим моментом M_{tot} и предельным моментом для бетона класса В25-В30 по зависимости

$$\Delta M = 1.69\eta^2 - 0.13\eta + 0.15; \quad (24)$$

– находятся деформации и напряжения крайней фибры бетона сжатой зоны;
– используя зависимость между напряжениями арматуры и бетона, и считая, что изменения деформаций будут напрямую зависеть от приращения момента, находятся деформации растянутой арматуры по следующей зависимости

$$\varepsilon_s = \frac{(\varepsilon_{s,crc} + \varepsilon_{s,u})}{(\varepsilon_{b,crc} + \varepsilon_{b,u})} \Delta M \quad (25)$$

– определяются напряжения в арматуре

$$\sigma_s = \varepsilon_s E_s, \text{ где } E_s = 200000 \text{ МПа} \quad (26)$$

– рассчитывается высота сжатой зоны бетона в сечении с трещиной по формуле

$$x = \frac{\varepsilon_b h_0}{\varepsilon_b + \varepsilon_s} \quad (27)$$

– определяется кривизна железобетонной фундаментной балки в сечении с трещиной

$$\frac{1}{\rho} = \frac{\varepsilon_b + \varepsilon_s}{h_0} \quad (28)$$

– находится условно упругая высота сжатой зоны бетона x_l , которая характеризует упругую работу сжатой зоны бетона

$$x_l = \frac{K R_{bn}}{1/\rho E_b} \quad (29)$$

Если $x_l > h$, то принимаем для расчета $x_l = h$

– определяется соотношение полной высоты сжатой зоны бетона и условной

$$\psi = x/x_l \quad (30)$$

– находятся вспомогательные коэффициенты K_c, K_x , характеризующие работу бетона в сжатой зоне и их соотношение

$$K_c = 0,44\psi^2 - 0,4 - 2,2 \ln \frac{\psi + 5}{6} \quad (31)$$

$$K_x = 0,22\psi^2 - 2,2\psi + 2 + 11 \ln \frac{\psi + 5}{6} \quad (32)$$

– определяется равнодействующая в бетоне сжатой зоны по формуле

$$N_c = \frac{R_{bn} b}{\frac{1}{\rho} E_b} K_c \quad (33)$$

– определяется расстояние от наиболее сжатой грани сечения до равнодействующей в бетоне

$$x_N = \xi x \quad (34)$$

где $\xi = \frac{[K_x / K_c]}{\psi}$ - коэффициент, который устанавливает расстояние от сжатой грани элемента до равнодействующей в бетоне сжатой зоны в долях от высоты сжатой зоны x ;

– определяется плечо внутренне пары сил

$$Z_c = h_0 - x_N \quad (35)$$

– вычисляется несущая способность сечения

$$M_{сеч} = N_b Z_b \quad (36)$$

– на основании определенных данных строятся зависимости $x = f(\varepsilon_b)$; $M = f(\varepsilon_b)$; $\frac{1}{\rho} = f(M)$; $\frac{1}{\rho} = f(\varepsilon_b)$; $B = f(\varepsilon_b)$; $M = f(B)$ где B - жесткость железобетонной фундаментной балки, которая рассчитывается по формуле

$$B = \frac{1}{\rho} M \quad (37)$$

– определяется изгибающий момент $M_{расч}$ от действующих контактных давлений при любом расчетном уровне внешней нагрузки от отпора грунта. При выполнении условия $M_{расч} \leq M_{сеч}$ расчет прекращается и сечение считается подобранным. При условии $M_{расч} > M_{сеч}$ производится изменение сечения балки или увеличение количества арматуры, расчет производится снова.

В приложениях представлены сведения об испытанных фундаментах, а также, иные материалы, подтверждающие результаты диссертационного исследования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Применение перекрестно-балочных фундаментов для освоения территорий со сложными инженерно-геологическими условиями имеет ряд особенностей, что

проявляется в изменении напряженно-деформированного состояния грунта основания и конструкции фундамента в процессе нагружения.

В следствие недостаточного количества экспериментально - теоретических исследований НДС оснований и фундаментов на склонах, существующие методики расчета таких конструкций не учитывают особенности взаимодействия системы «основание - фундамент».

В ходе экспериментально-теоретических исследований установлено, что эпюра контактных давлений имеет неравномерный характер с увеличением ординат по направлению склона. Данный факт обусловлен особым напряженным состоянием грунта в зоне примыкания основания к стене удерживающей конструкции. Непосредственно за удерживающей конструкцией происходит изменение характеристик грунта, в частности изменение его плотности. Это уплотнение возникает за счет особенности взаимодействия грунтового основания с практически несмещаемой жесткой вертикальной стенкой удерживающей конструкции и фундаментом. Также установлены особенности развития осадок конструкции фундамента, что выражается в увеличении осадки по мере удаления от удерживающей конструкции.

Разработанный алгоритм расчета эпюры контактных давлений с учетом их перераспределения в основании с использованием контактной модели напряженно-деформированного состояния основания с переменным коэффициентом жесткости позволяет наиболее точно производить расчет перекрестно-балочных фундаментов на склонах, учитывая все особенности взаимодействия системы «основание - фундамент».

Методика и алгоритм расчета нормальных сечений продольных железобетонных балок наклонного перекрестно-балочного фундамента зданий на склонах на основе деформационной модели дает возможность производить расчет и конструирование таких фундаментов с достаточной степенью точности, а также автоматизировать расчет конструкции фундамента, учитывая разнообразные факторы.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Основное содержание диссертационной работы опубликовано в следующих научных работах:

Публикации в ведущих рецензируемых журналах и изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Барыкин, А. Б. К вопросу определения расчетной эпюры нормальных контактных напряжений в основании для проектирования перекрестного ленточного фундамента на склоне / А. Б. Барыкин // Геотехника. – 2017. – №1. – С. 28–38.
2. Барыкин, А. Б. Модельные исследования деформаций оснований перекрестно-балочных фундаментов на склонах / А. Б. Барыкин // Строительная механика и расчет сооружений. – 2017. – №3. – С. 68–75.

3. Барыкин, А. Б. Расчет прочности нормальных сечений перекрестно–балочных фундаментов на склонах на основе диаграммы деформирования бетона / И. М. Дьяков, А. Б. Барыкин // Научный журнал строительства и архитектуры. – 2017. – № 2 (46). – С. 18–27.

Публикации в других изданиях:

1. Барыкин, А. Б. Применение экспериментальных диаграмм " σ с – ε с" сжатого бетона при расчете перекрестно–балочных фундаментов для зданий на склонах / Б. Ю. Барыкин, А. В. Андронов, А. Б. Барыкин // Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. трудов. (По материалам Всеукр. науч.–практ. конф. "Геостойкое строительство", 27–28 окт. 2011 г.). – Симферополь: НАПКС, 2011. – Вып. 39. – С. 9–19.
2. Барыкин, А. Б. Ресурсосберегающие принципы проектирования зданий на сложном рельефе / Б. Ю. Барыкин, А. Б. Барыкин // Строительство и техногенная безопасность. Сб. науч. трудов. (По материалам девятой междунар. науч.–практ. конф. "Геометрическое и компьютерное моделирование: энергосбережение, экология, дизайн", 24–28 сент. 2012 г.). – Симферополь : НАПКС, 2012. – Вып. 41. – С. 39–44.
3. Барыкин, А. Б. К вопросу о биопозитивности строительства на сложном рельефе / Б. Ю. Барыкин, А. Б. Барыкин // MOTROL. – Commission of motorization and energetics in agriculture: Polish Academy of sciences. – Lublin, 2012. – Vol. 14, № 6. – P. 125–135.
4. Барыкин, А. Б. Предложения по расчету прочности перекрестно–балочных фундаментов для зданий на склонах при совместном действии изгибающих моментов и продольных сил на основе деформационной модели / А. Б. Барыкин, Б. Ю. Барыкин // Вестник Одесской государственной академии строительства и архитектуры. Сб. науч. трудов. (По материалам Международной науч.–техн. конф. "Проблемы теории и практики строительных конструкций", 15–17 апреля 2013 г.). – Одесса : ОГАСА, 2013. – Вып. 49. – С. 40–47.
5. Барыкин, А. Б. Предложения по расчету анкерных систем для зданий на наклонных основаниях с перекрестно–балочными фундаментами / А. В. Андронов, Б. Ю. Барыкин, А. Б. Барыкин // Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамическими явлениями в горных породах и выработках : Материалы XIX Междунар. науч. конф. им. академика С. А. Христиановича. – Симферополь : Таврич. нац. ун–т, 2009. – С. 21–29.
6. Барыкин, А. Б. Влияние угла наклона буроинъекционных анкеров на их несущую способность для зданий на склонах с перекрестно–балочными фундаментами / А. В. Андронов, Б. Ю. Барыкин, А. Б. Барыкин // Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамическими явлениями в горных породах и выработках : Материалы XX Междунар. науч. конф. им. академика С. А. Христиановича. – Симферополь : Таврич. нац. ун–т, 2010. – С. 32–39.
7. Барыкин, А. Б. Применение биопозитивных принципов при проектировании и строительстве зданий и сооружений на неудобьях / Б. Ю. Барыкин, А. Б. Барыкин // Энергосбережение в строительстве и архитектуре : Материалы VIII Междунар. науч.–практ. конф. "Геометрическое и компьютерное моделирование: энергосбережение, экология, дизайн". Вып. 2. – К. : КНУСА, 2011. – С. 22–26.

8. Барыкин, А. Б. Виды испытаний буроинъекционных анкеров и определение их несущей способности / Б. Ю. Барыкин, А. В. Андронов, А. Б. Барыкин // Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамическими явлениями в горных породах и выработках : Материалы XXI Междунар. науч. конф. им. академика С. А. Христиановича. – Симферополь : Таврич. нац. ун–т, 2011. – С. 39–47.
9. Барыкин, А. Б. Учет неблагоприятных внешних факторов при усилении зданий и сооружений, возводимых на неудобьях / Б. Ю. Барыкин, А. В. Андронов, А. Б. Барыкин // Деформирование и разрушение материалов с дефектами и динамическими явлениями в горных породах и выработках : Материалы XXII Междунар. науч. конф. им. академика С. А. Христиановича. – Симферополь : Таврич. нац. ун–т, 2012. – С. 26–39.
10. Барыкин, А. Б. Комплексная застройка городских территорий Южного Берега Крыма на сложном рельефе / Б. Ю. Барыкин, А. В. Андронов, А. Б. Барыкин // Деформирование и разрушение материалов с дефектами, и динамические явления в горных породах и выработках : Материалы XXIV Междунар. науч. школы им. академика С. А. Христиановича, Алушта, 22–28 сентября 2014 г. – Симферополь : Таврич. нац. ун–т, 2014. – С. 23–31.
11. Барыкин, А. Б. К вопросу определения контактных напряжений под подошвой перекрестно–ленточного фундамента на склоне с учетом нелинейных деформаций грунта / А. Б. Барыкин // Строительство в прибрежных курортных регионах./ Материалы IX Международной научно–практической конференции – г. Сочи: Сочинский Государственный Университет, 2016 – С.34–38.
12. Барыкин, А. Б. Комплексное освоение неудобий Южного Берега Крыма с применением биопозитивных принципов / Б. Ю. Барыкин, А.Б. Барыкин // Строительство в прибрежных курортных регионах./ Материалы IX Международной научно–практической конференции – г. Сочи: Сочинский Государственный Университет, 2016 – С.38–42.

Подписано в печать 23.03.2018 г. Тираж 100 экз. Усл. печ. л. 1,0

Формат 60 x 84 1/16.

Типография _____