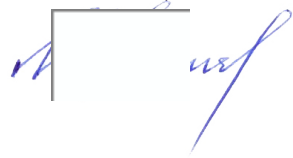


На правах рукописи



Мариничев Максим Борисович

**ФУНДАМЕНТЫ МНОГОЭТАЖНЫХ
И ВЫСОТНЫХ ЗДАНИЙ
В ОСОБЫХ УСЛОВИЯХ ЮГА РОССИИ**

Специальность 2.1.2. Основания и фундаменты,
подземные сооружения

АВТОРЕФЕРАТ
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Краснодар – 2023

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина».

Научный консультант: **Полищук Анатолий Иванович**
доктор технических наук, профессор.

Официальные оппоненты: **Готман Альфред Леонидович**
доктор технических наук, профессор,
АО «НИЦ Строительство» – НИИОСП
им. Н. М. Герсевича», экспертно-аналитический отдел, главный специалист;

Знаменский Владимир Валерианович
доктор технических наук, профессор,
ФГБОУ ВО «Национальный
исследовательский Московский государственный
строительный
университет» (НИУ МГСУ), кафедра
«Механика грунтов и геотехника», профессор;

Шашкин Алексей Георгиевич
доктор геолого-минералогических наук,
ООО «Институт строительного проектирования
«Геореконструкция», генеральный директор.

Ведущая организация: **ФГБОУ ВО «Тюменский индустриальный университет».**

Защита состоится «07» декабря 2023 г. в 14:00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.380.04 при ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» по адресу: 190005, г. Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская ул., д. 4, зал заседаний диссертационного совета (аудитория № 220). Тел./факс: +7 (812) 316-58-73; E-mail: rector@spbgasu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» и на сайте <http://dis.spbgasu.ru/specialtys/personal/marinichev-maksim-borisovich>

Автореферат разослан «11» сентября 2023 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



В. В. Конюшков

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Внедрение в практику строительства передовых способов возведения многоэтажных и высотных зданий открыло перед специалистами широкие возможности для реализации смелых архитектурно-строительных решений. Постоянно растущая этажность зданий в крупных городах связана с экономическими аспектами, а также с дефицитом незастроенных участков (территорий), большинство из которых характеризуется как особые условия строительства.

Под *особыми условиями* строительства зданий и сооружений понимается сочетание следующих факторов: значительный перепад отметок рельефа в пределах строительной площадки; риск проявления оползневых и гравитационных процессов; высокая расчетная сейсмичность рассматриваемых площадок; незакономерное чередование слоев основания с значительной неоднородностью по показателям свойств грунтов в плане или по глубине; знакопеременные ветровые пульсационные нагрузки.

В настоящей работе понятие особые условия строительства фундаментов многоэтажных и высотных зданий сформулировано на основе результатов исследований состава и свойств грунтов, подземных вод и условий их залегания; климатических воздействий; категории грунтов по сейсмическим свойствам; наличия неблагоприятных факторов в основании (геоморфологических, гидрогеологических и др.), выявленных на стадии инженерно-геологических изысканий и оказывающих существенное влияние на безопасную эксплуатацию возводимых объектов. Компенсировать их влияние можно за счет разработки новых и развития существующих методов расчета и конструирования фундаментов зданий, сооружений.

В современной отечественной и зарубежной технической литературе по строительству опубликован целый ряд методов, подходов, предложений, позволяющих проектировать фундаменты в особых условиях: на склонах, при действии значительных сейсмических нагрузок, при неоднородном напластовании грунтов, а также при появлении в основании фундаментов нескольких горизонтов подземных вод. Широко известны методы фундаментостроения на грунтах со специфическими свойствами. Однако до настоящего времени вопросам расчета и конструирования фундаментов многоэтажных и высотных зданий в особых условиях строительства уделялось недостаточно внимания. Поэтому рассматриваемая тема диссертационной работы является *актуальной*.

Степень разработанности темы. Активное строительство многоэтажных и высотных зданий потребовало развития методов расчета и конструирования фундаментов, а также их научного обоснования. В исследования

работы фундаментов и разработку их конструктивных решений для многоэтажных и высотных зданий значительный вклад внесли: М.Ю. Абельев, А.А. Бартоломей, Б.В. Бахолдин, Т.А. Белаш, А.Л. Готман, Н.З. Готман, А.А. Григорян, С.И. Евтушенко, К.Е. Егоров, А.Ж. Жусупбеков, Ю.К. Зарецкий, В.В. Знаменский, В.А. Ильичёв, С.А. Кудрявцев, П.А. Ляшенко, Р.А. Мангушев, О.А. Маковецкий, И.Т. Мирсаяпов, А.Л. Невзоров, Н.С. Никифорова, Л.В. Нуждин, В.Н. Парамонов, В.П. Петрухин, А.И. Полищук, А.Б. Пономарев, Я.А. Пронозин, А.П. Пшеничкин, Г.М. Скибин, С.Н. Сотников, Л.Р. Ставницер, З.Г. Тер-Мартirosян, А.З. Тер-Мартirosян, В.И. Травуш, А.М. Уздин, В.М. Улицкий, В.Г. Федоровский, К.Ш. Шадунц, А.Г. Шашкин, О.А. Шулятьев, С.В. Ющубе, V.N. Fioravante, K. Kayvani, R. Katzenbach, A. Mandolini, H.G. Polous, M.F. Randolph, G. Russo, C. Viggiani, M.B. Yamiolkovskiy и др.

Однако целый ряд вопросов остается пока нерешенным, особенно при освоении территорий, обладающих определенной инженерно-геологической спецификой. Такая специфика обусловлена сочетанием различных региональных параметров рассматриваемых территорий, к которым можно отнести их высокую расчетную сейсмичность, распространение оползневых процессов, переменный рельеф, наличие нескольких водоносных горизонтов, незакономерное чередование грунтовых разностей в пределах инженерно-геологического разреза. Сочетание указанных выше параметров приводит к формированию особых условий строительства и вызывает необходимость развития существующих методов расчета и конструирования фундаментов многоэтажных и высотных зданий.

Цель работы заключалась в разработке основных принципов расчета и конструирования фундаментов многоэтажных и высотных зданий, обеспечивающих их безопасность и эффективность в особых условиях Юга России.

Задачи исследований:

1. Установить признаки формирования особых условий при застройке территории многоэтажными и высотными зданиями на основе анализа инженерно-геологических особенностей площадок строительства Юга России. Дать предложения по развитию классификации категорий сложности инженерно-геологических условий строительства.

2. Выполнить обобщение многолетних результатов полевых испытаний буровых натуральных свай в песчано-глинистых грунтах с целью разработки системы поправочных коэффициентов для оценки несущей способности свай, сгруппированных по определяющим параметрам; усовершенствовать методику расчета и конструирования свайных фундаментов с учетом выделения характерных участков в пределах их опорной площади.

3. Исследовать закономерности взаимодействия буровых свай с грунтом основания на основе использования метода их испытаний постоянно

возрастающей нагрузкой с непрерывным наблюдением за осадкой и частой синхронной регистрацией вдавливающей силы.

4. Разработать метод расчета несущей способности проектируемых свай по данным испытаний постоянно возрастающей нагрузкой с использованием коэффициентов подобия, обоснованных разделением деформации на упругую и пластическую составляющую.

5. Исследовать закономерности взаимодействия свайного поля и фундаментной плиты, разделенных промежуточным распределительным слоем, и разработать эффективные геотехнические решения для строительства многоэтажных и высотных зданий в особых условиях. Разработать рекомендации по конструированию свайных фундаментов с промежуточным распределительным слоем для рассматриваемых зданий с учетом сейсмических воздействий.

6. Разработать новые способы проектирования и строительства свайных и свайно-плитных фундаментов для сейсмических районов с учетом заданной последовательности включения их элементов в совместную работу. Предусмотреть возможность управления неравномерными осадками фундаментов многоэтажных и высотных зданий в процессе строительства и дальнейшей эксплуатации.

7. Разработать и внедрить в практику строительства многоэтажных и высотных зданий эффективные конструкции фундаментов, адаптированные к особым условиям Юга России с учетом высокой сейсмичности и значительного перепада отметок рельефа.

8. Разработать классификацию методов расчета и конструирования фундаментов многоэтажных и высотных зданий в особых условиях Юга России.

Объект исследования: фундаменты многоэтажных и высотных зданий в особых условиях Юга России.

Предмет исследования: взаимодействие фундаментов многоэтажных и высотных зданий с основанием в особых условиях Юга России.

Методология и методы исследования. При решении поставленных задач были использованы экспериментальные и теоретические исследования, методы системного и статистического анализа, теория подобия, планирование эксперимента, теории упругости, пластичности и ползучести, предельного равновесия, натурные испытания свай, общие методы механики грунтов и деформируемого твердого тела, лабораторное, математическое и численное моделирование. Моделирование работы фундаментов и грунтов основания выполнялось в сертифицированных программных комплексах PLAXIS, MIDAS FEA NX, ING+.

Научная новизна исследований заключается в следующем:

1. Установлены признаки формирования особых условий при застройке территории Юга России многоэтажными и высотными зданиями,

включающиеся в сочетании различных факторов, к которым относятся: высокая расчетная сейсмичность территорий, наличие оползневых процессов, переменный рельеф, незакономерное чередование грунтовых разностей в пределах инженерно-геологического разреза. Сформулированы предложения по развитию классификации категорий сложности инженерно-геологических условий строительства для дальнейшего их применения в нормативных документах.

2. Предложена система поправочных коэффициентов для оценки несущей способности свай, сгруппированных по определяющим параметрам (несущая способность F_d , диаметр d , отношение длины к диаметру l/d), полученных на основании обобщения многолетних результатов полевых испытаний буровых натуральных свай в песчано-глинистых грунтах Юга России, что позволило усовершенствовать методику расчета и конструирования свайных фундаментов с учетом выделения характерных участков в пределах опорной площади фундаментов.

3. Разработан метод испытания натуральных буровых сваях постоянно возрастающей нагрузкой с синхронной регистрацией вдавливающей силы, осадки и времени, позволивший впервые выявить скачкообразное увеличение осадки основания сваях и установить циклическое изменение ее скорости и ускорения, которое объяснено чередованием упругого торможения деформации и локального разрушения грунта. Разработан метод расчета несущей способности проектируемых сваях с разной площадью боковой поверхности, базирующийся на данных их испытаний постоянно возрастающей нагрузкой с использованием коэффициентов подобия, обоснованных разделением деформации на упругую и пластическую составляющую.

4. Выявлены закономерности взаимодействия свайного поля и фундаментной плиты, разделенных промежуточным распределительным слоем, зависящие от параметров свайного поля, жесткости надземного строения, а также стадийности приложения внешней нагрузки; разработаны рекомендации по конструированию свайных фундаментов с промежуточным распределительным слоем для многоэтажных и высотных зданий в сейсмических районах.

5. Предложен новый аналитический метод расчёта промежуточного распределительного слоя из условий равенства сил и равенства работ упругих деформаций фундаментной плиты, промежуточного распределительного слоя, сваях и грунта основания при их совместной работе под нагрузкой от здания; установлены значения доли внешней нагрузки, воспринимаемые грунтом основания в зависимости от расстановки сваях в плане.

6. Разработаны новые способы проектирования и строительства свайных и свайно-плитных фундаментов в сейсмических районах: – с заданной

начальной осадкой плитной части; – с использованием свай разной длины и их последовательным включением в совместную работу с плитной частью; – с возможностью управления осадками фундаментов в процессе строительства.

7. Разработана классификация методов расчета и конструирования фундаментов многоэтажных и высотных зданий в особых условиях Юга России, которая включает впервые апробированные эффективные конструкции фундаментов, обладающие патентной новизной, адаптированные для сеймоопасных районов и участков строительства со значительным перепадом отметок рельефа.

Теоретическая и практическая значимость работы. *Теоретическая значимость работы* заключается в выявлении скачкообразного характера увеличения осадки буровой сваи при действии внешней постоянно возрастающей нагрузки и в его объяснении чередованием упругой и неупругой деформации основания сваи; разработке способа разделения осадки сваи на упругую и пластическую составляющие на ступенях ее осадки; обосновании условий подобия висячих свай и выводе коэффициентов подобия приращений осадки и сопротивления на каждой ступени деформирования, учитывающих длительность приложения внешней нагрузки; обосновании способа расчёта осадок основания свайного фундамента с промежуточным распределительным слоем из условий равенства сил и равенства работ свай, фундаментной плиты, промежуточного распределительного слоя и грунта основания.

Практическая значимость работы заключается в том, что результаты исследований доведены до их практического применения. Автором разработаны рекомендации по конструированию свайных фундаментов с промежуточным распределительным слоем, предложена методика обоснования параметров (длина, диаметр буровых свай) для расчета и конструирования свайных фундаментов многоэтажных и высотных зданий, разработаны новые способы строительства свайных и свайно-плитных фундаментов в сейсмических районах, учитывающие заданную последовательность включения их элементов в совместную работу, а также возможность управления неравномерными осадками в процессе строительства и дальнейшей эксплуатации многоэтажных и высотных зданий в особых условиях.

Предложенная классификация методов расчета и конструирования фундаментов многоэтажных и высотных зданий в особых условиях позволяет избежать ошибок в выборе проектных решений и, тем самым, уменьшить риски инвестиций в строительство.

Результаты исследований внедрены при строительстве 50 объектов (в период с 2004 по 2023 годы) в Краснодаре, Сочи, Новороссийске, Геленджике,

Анапе, Минске, в том числе: 23-х этажное здание гостиничного комплекса «Marriott» в г. Краснодаре; 23-х этажное здание «Ideal-House» по ул. Бытха в г. Сочи; комплекс высотных зданий в границах улиц Гагринская-Депутатская-Южная г. Сочи; жилой комплекс «Королевский Парк» по ул. Курортный Проспект в г. Сочи, жилой комплекс «Парк Горького» по ул. Горького в г. Сочи; 20-ти этажное жилое здание по ул. Набережная Адмирала Серебрякова в г. Новороссийске; многофункциональный комплекс в г. Минске в границах ул. Филимонова – просп. Независимости – ул. Макаенка; жилой комплекс «Горизонт» по ул. Просвещения, 24 в Адлерском районе г. Сочи и др. Внедрение результатов исследований подтверждено соответствующими документами, которые приведены в приложении к диссертации.

Результаты исследований автора использованы в ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И. Т. Трубилина» при чтении лекций и выполнении выпускных квалификационных работ студентами, обучающихся по специальности 08.05.01 – Строительство уникальных зданий и сооружений, а также направлениям подготовки 08.03.01 и 08.04.01 – Строительство в 2010-2023 гг.

Степень достоверности результатов. Достоверность результатов исследований и выводов научной работы обоснована использованием основных положений механики грунтов, механики твердого и деформируемого тела, математической статистики; обеспечивается достаточным объемом исследований с применением полевых и лабораторных экспериментов, современных средств обработки экспериментальных данных и оборудования, корректным применением общепринятых аналитических, статистических, эмпирических методов, а также экспертных оценок; сопоставлением получаемых результатов с другими исследованиями и фактическим состоянием объектов; апробацией и внедрением научных разработок при проектировании, строительстве и эксплуатации фундаментов многоэтажных и высотных зданий.

Апробация результатов работы. Результаты диссертационной работы докладывались и получили положительную оценку более чем на 30 научных конференциях в РФ (Краснодар – 2002, 2003, 2004, 2013, 2019; Москва – 2010, 2020; Санкт-Петербург – 2008, 2016, 2021; Сочи – 2003, 2005, 2007; Екатеринбург – 2016, 2017, 2018, 2019, 2020; Пермь – 2005, 2021; Новочеркасск – 2012, 2015, 2018; Новосибирск – 2021; Барнаул – 2023 и др.), а также на международных конференциях (Италия, Анкона – 2007; Германия, Франкфурт-на-Майне – 2009; Германия, Ланштайн – 2015; Чехия, Прага – 2017; Китай, Шеньян – 2019). Начиная с 2004 года по настоящее время результаты исследований периодически докладывались на научных семинарах кафедры оснований и фундаментов КубГАУ (г. Краснодар).

Личный вклад автора заключается в формулировании темы и выборе направления исследований, обобщении имеющихся многолетних архивных данных, проведении натурных и лабораторных экспериментов, обработке полученных результатов, выполнении расчетов аналитическими и численными методами, обосновании и разработке методик, методов, классификаций, алгоритмов, новых конструктивных решений фундаментов и их дальнейшем внедрении в практику проектирования и реального строительства.

Список работ, опубликованных автором по теме диссертации. По теме исследований опубликовано 90 научных печатных работ, включающих: 2 монографии, 1 научно-практическое пособие, 16 публикаций в изданиях, индексируемых ВАК РФ, 9 публикаций в изданиях, индексируемых в международных базах данных Scopus и Web of Science, 22 патента РФ на изобретения, 2 свидетельства об официальной регистрации программ для ЭВМ.

Монографии и научно-практические пособия по теме диссертации:

1. Мариничев М.Б. Исследование работы буровых сваях в составе фундаментов многоэтажных и высотных зданий: Монография / М. Б. Мариничев. – Краснодар : КубГАУ : Просвещение - Юг, 2022. – 155 с. ISBN 978-5-93491-917-8.

2. Мариничев М. Б. Основы расчета и конструирования фундаментов многоэтажных, высотных и уникальных зданий: научно-практическое пособие / М. Б. Мариничев, О. Ю. Ещенко, В. А. Демченко, И. Г. Ткачев – Краснодар: КубГАУ, 2022. – 224 с.

3. Мариничев М. Б. Инженерная защита территорий от опасных природных процессов: Монография / М. Б. Мариничев. – Краснодар : Просвещение - Юг, 2022. – 134 с. ISBN 978-5-93491-920-8.

Положения, выносимые на защиту:

1. Особая категория инженерно-геологических условий строительства при проектировании фундаментов многоэтажных и высотных зданий, которая может быть использована для совершенствования нормативных и конструктивных документов.

2. Система поправочных коэффициентов для оценки несущей способности свай, сгруппированных по определяющим параметрам (несущая способность F_d , диаметр d , соотношение длины к диаметру l/d), позволившая усовершенствовать методику расчета и конструирования свайных фундаментов с учетом выделения характерных участков в пределах опорной площади фундамента.

3. Метод испытания буровых сваях постоянно возрастающей нагрузкой с синхронной регистрацией вдавливающей силы, осадки и времени, позволяющий установить циклическое изменение скорости и ускорения осадки сваи, которое объяснено чередованием упругого торможения деформации и локального разрушения грунта при нагружении.

4. Метод определения параметров свайного поля, базирующийся на результатах расчета несущей способности проектируемых свай по данным их испытаний постоянно возрастающей нагрузкой с использованием коэффициентов подобия, обоснованных разделением деформации на упругую и пластическую составляющие.

5. Результаты исследований, отражающие закономерности взаимодействия свайного поля, промежуточного распределительного слоя и фундаментной плиты здания с учетом неизменяемого объема материала для устройства свай, в том числе с учетом действия сейсмических нагрузок.

6. Аналитический метод расчёта параметров промежуточного распределительного слоя, основанный на условиях равенства сил и равенства работ упругих деформаций фундаментной плиты, промежуточного распределительного слоя, свай и грунта основания при их совместной работе под нагрузкой от здания, позволяющий установить доли внешней нагрузки, воспринимаемые грунтом в зависимости от расстановки свай в плане.

7. Классификация методов расчета и конструирования фундаментов многоэтажных и высотных зданий в особых условиях Юга России. Внедрение результатов исследований в практику проектирования и строительства эффективных конструкций фундаментов многоэтажных и высотных зданий, адаптированных к особым условиям, а также сейсмическим воздействиям.

Структура и объем работы. Текст научной работы представлен на 355 страницах, включая 232 рисунка, 25 таблиц, 303 литературных источника. Диссертация включает в себя введение, 6 разделов, заключение, список литературы, а также приложения, которые содержат справки о внедрении результатов исследований.

Автор выражает благодарность профессору кафедры «Основания и фундаменты» КубГАУ П.А. Ляшенко, профессору С.И. Мацию за поддержку выбранного направления исследований, консультации и внимание к диссертационной работе. Особую благодарность автор выражает своему научному консультанту, Заслуженному строителю РФ, доктору технических наук, профессору А.И. Полищуку за постоянное содействие, консультации, отзывчивость и внимание к работе.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы, приведена цель и задачи исследований, изложены научная новизна, теоретическая и практическая значимость диссертации, приведены личный вклад автора и защищаемые положения по диссертационной работе.

В первом разделе выполнен обзор исследований о работе фундаментов многоэтажных и высотных зданий в сложных грунтовых условиях. Проанализировано отрицательное влияние неблагоприятных геологических и инженерно-геологических процессов на строительство и эксплуатацию зданий, сооружений. Рассмотрены существующие подходы к расчету и конструированию фундаментов многоэтажных и высотных зданий: на естественном основании, свайных, свайно-плитных, коробчатого типа, фундаментов для компенсации горизонтальных и выдергивающих усилий. Рассмотрено влияние этапности строительства фундаментов на распределение напряжений и деформаций в системе «основание-фундамент-сооружение». На основании анализа результатов исследований работы фундаментов в сложных грунтовых условиях были сформулированы цель и основные задачи исследований.

Во втором разделе дана характеристика особых условий площадок строительства Юга России при возведении многоэтажных, высотных зданий и установлены признаки их формирования. Проведенная работа базируется на схематической карте новейшей тектоники (Турбин Л.И., Александрова Н.В., 1979); на материалах, систематизированных при составлении карты инженерно-геологического районирования Краснодарского края в масштабе 1:200 000 (Водопьянова О.Г., Батурина А.Н. и др., 2005); на материалах исследований опасных геологических процессов на территории Большого Сочи (ОАО «Росстройизыскания», 2004–2012; ОАО «Кавказгидрогеология», 2007; ФГБУ «Гидроспецгеология», 2016); на материалах института физики Земли им. О.Ю. Шмидта РАН (Уломов В.И. и др., 2015). В материалах приведена детальная классификация территории Краснодарского края по сложности освоения для перспективного строительства. Всего по Краснодарскому краю выделено более 630 разновидностей грунтов, систематизированных по стратиграфо-генетическим комплексам в пределах инженерно-геологических областей с учетом геоморфологического положения.

На итоговой карте инженерно-геологического районирования выделены благоприятные для строительства участки (до 20% территории), условно благоприятные для строительства (до 50% территории), неблагоприятные для строительства (до 30% территории). В целом, по собранной информации и ее систематизации по инженерно-геологическим условиям дана оценка пригодности территории для строительства с позиций экономической целесообразности (Водопьянова О.Г., Батурина А.Н. и др., 2005).

При изучении опасных геологических и инженерно-геологических процессов на примере территории Большого Сочи были систематизированы следующие сведения:

- карта дочетвертичных образований;
 - карта четвертичных образований;
 - карта проявления оползневых процессов;
 - карта крутизны склонов (рисунок 1);
 - карта распространения опасных геологических процессов;
 - карта формационно-генетических комплексов;
 - карта селевой опасности территорий горного кластера;
 - геоморфологические и тектонические схемы;
- а также:
- карта сейсмичности Крымско-Северокавказского региона (рисунок 2).

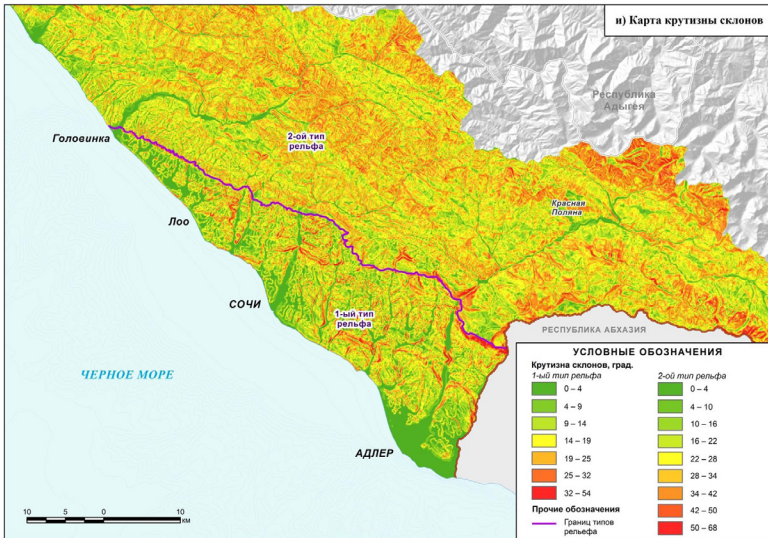


Рисунок 1 – Карта крутизны склонов на территории Большого Сочи (ФГБУ «Гидроспецгеология», 2016)

По результатам проведенного системного анализа данных установлено, что простых инженерно-геологических условий в пределах Краснодарского края практически нет, простыми их можно назвать условно. Необходимость выполнения инженерной подготовки территории продиктована объективными инженерно-геологическими факторами.

Многие инвестиционно привлекательные площадки отнесены к неблагоприятным для строительства, что определяет негативный прогноз для градостроительных вложений в развитие таких площадок со стороны частных инвесторов. Проведенное исследование территории по пригодности для строительства привело к необходимости развития методов расчета, конструирования и строительства фундаментов в рассматриваемых условиях во взаимосвязи с особенностями застройки конкретных территорий предполагаемыми типами зданий и сооружений, в том числе с учетом действующих опасных геологических и инженерно-геологических процессов, а также климатических воздействий.

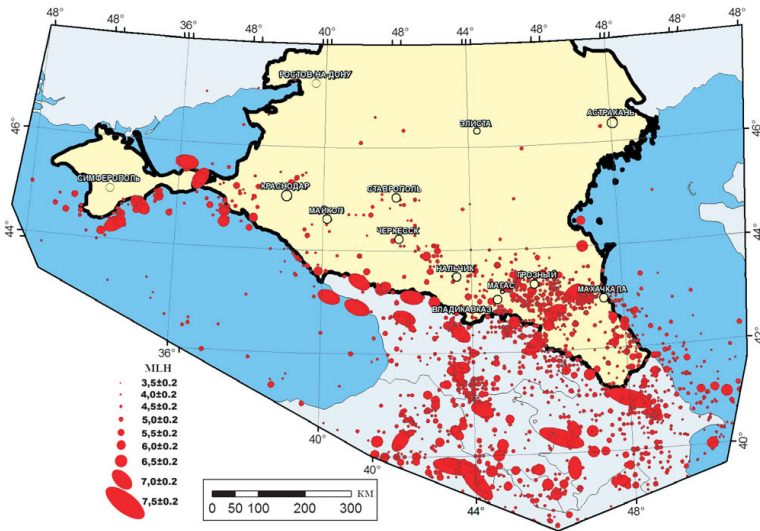


Рисунок 2 – Карта сейсмичности Крымско-Северокавказского региона (Уломов В.И. и др., 2015)

В результате проведенных исследований (таблица 1) предложена *особая* категория сложности инженерно-геологических условий строительства, под которой понимается сочетание трех или более следующих факторов: значительный перепад отметок рельефа в пределах строительной площадки; риск проявления оползневых и гравитационных процессов; высокая расчетная сейсмичность площадки строительства; незаконномерное чередование слоев основания с значительной неоднородностью по показателям свойств грунтов в плане или по глубине; уклоны рельефа в двух направлениях.

Таблица 1 – Предлагаемая категория сложности инженерно-геологических условий строительства (особая)

Фактор	Категория сложности инженерно-геологических условий строительства
	Особая
Геоморфологические условия	В пределах площадки (участка) строительства выявлено несколько геоморфологических элементов разного генезиса. Углы наклона естественного рельефа более 15%. Уклоны в пределах площадки – в двух направлениях. Поверхность сильно расчлененная
Геологические в сфере взаимодействия зданий и сооружений с геологической средой	Более пяти слоев разной мощности. Угол уклона всех слоев более 10°. Уклоны слоев в двух направлениях. Незакономерное чередование слоев с значительной степенью неоднородности по показателям свойств грунтов, изменяющихся в плане или по глубине. Наличие линз, тектонических нарушений. Скальные (полускальные) грунты сильно трещиноватые, расчлененные, выветрелые (угол падения слоев более 30°). Широкое распространение специфических грунтов в пределах площадки на глубину более 5 метров
Гидрогеологические в сфере взаимодействия зданий и сооружений с геологической средой	Два и более водоносных горизонта, гидравлически связанных между собой фильтрационными окнами. Коэффициенты фильтрации подземных вод превышают 50 м/сут. Подземные воды оказывают агрессивное воздействие на бетонные и металлические конструкции. Факторы оказывают решающее влияние на выбор проектных решений, строительство и эксплуатацию объектов
Геологические и инженерно-геологические процессы, отрицательно влияющие на условия строительства и эксплуатации зданий и сооружений	Имеют повсеместное распространение при одновременном сочетании двух и более процессов (сейсмических, оползневых, гравитационных, подтопления). Факторы оказывают решающее влияние на выбор проектных решений, строительство и эксплуатацию объектов

* При составлении описания предлагаемой категории сложности грунтовых условий за основу взята форма Таблицы Г.1 Приложения Г к СП 47.13330.2016

Таким образом, на основе анализа инженерно-геологических особенностей рассматриваемых площадок, сформулировано определение особых

условий строительства фундаментов многоэтажных и высотных зданий, и установлены признаки их формирования.

В третьем разделе представлена методика выбора параметров для расчета и конструирования свайных фундаментов многоэтажных и высотных зданий. Проведены экспериментальные и теоретические исследования, позволившие выявить закономерности взаимодействия с грунтом одиночных свай и свай в составе свайного поля. Предложена схема взаимодействия буровых свай с грунтом на основе разделения их осадки на упругую и пластическую составляющие по мере возрастания внешней нагрузки.

В период с 2000 года и по настоящее время буровые сваи, устраиваемые различными способами, получили широкое распространение при строительстве фундаментов высотных и многоэтажных зданий на территории Юга России. Это дало возможность собрать значительную базу данных по результатам испытаний натуральных свай на площадках строительства и обобщить полученные результаты по исследуемым параметрам. Одним из таких параметров являлось отношение расчетного значения несущей способности сваи к фактическому значению, полученному в ходе проведения испытаний. Всего были проанализированы результаты испытаний на более чем 100 объектах, которые выполнялись организациями ООО «ГТС», ООО «Основа 23», ОАО «НИЦ Морские берега» и др. (2007-2022 гг.). От поверхности котлована до разведанной глубины залегали супеси, суглинки и глины от твердой до мягкопластичной консистенции. По боковой поверхности свай встречены преимущественно глинистые грунты, на отдельных площадках с прослойками песка. Заглубление нижних концов свай в несущий слой во всех случаях превышало 1 м. Длина свай составляла 9,5–35 м, диаметр 250–800 мм.

Для анализа результатов были выделены четыре группы свай. Первые две группы разделяют их по диаметрам: малого диаметра – до 350 мм, большого диаметра – 350 мм и выше. Другие две группы характеризуются различным отношением l/d . Для относительно жестких свай характерно отношение l/d менее 25, а для гибких более 25. Для всех рассмотренных свай определена несущая способность по грунту (СП 24.13330.2011) и сопоставлена с результатами их натуральных испытаний.

Полученные результаты для испытанных свай, сгруппированных по исследуемым критериям, представлены на рисунке 3. Диаграммы составлены для сравнительного анализа фактической (F_{da}) и расчетной (F_{dc}) несущей способности сваи. Пунктирной линией обозначены диагонали диаграмм, которые соответствуют единичному отношению фактических значений к расчетным.

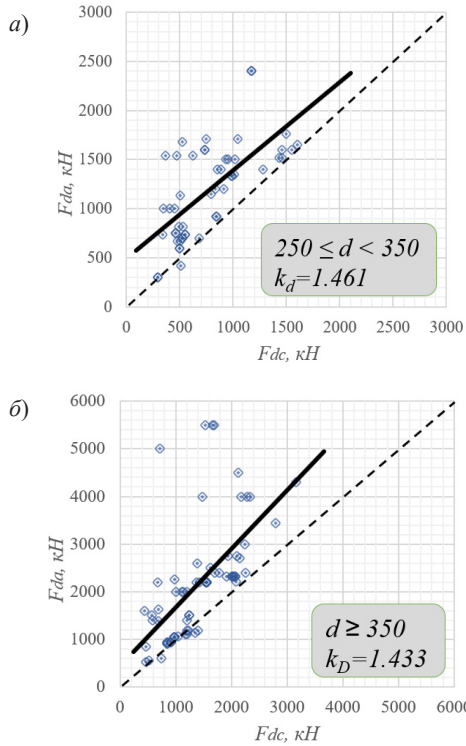


Рисунок 3 – Диаграммы сравнения фактической и расчетной несущей способности свай, сгруппированных по выделенным критериям: а) $250 \text{ мм} \leq d \leq 350 \text{ мм}$; б) $d > 350 \text{ мм}$

Для определения количественных характеристик результатов сравнения была проведена статистическая обработка результатов, в ходе которой вычислены средняя арифметическая зависимость, среднее квадратичное отклонение, коэффициент вариации. Однородная совокупность при доверительной вероятности 0,95 дала возможность разработать систему поправочных коэффициентов для оценки несущей способности свай, сгруппированных по рассматриваемым параметрам. Для свай диаметром $250 \text{ мм} \leq d \leq 350 \text{ мм}$ поправочный коэффициент к расчету несущей способности составил $k_d = 1,461$, при диаметре сваи свыше 350 мм $k_D = 1,433$. Для свай с соотношением $l/d < 25$ коэффициент составил $k_l = 1,406$; при $l/d > 25$ $k_L = 1,458$.

Для определения параметров свайно-плитного фундамента с применением буровых свай (длина, диаметр) разработана программа для ЭВМ «CPRF-CFA»

(свидетельство о регистрации программы для ЭВМ № 2013617142), позволяющая определять рациональное размещение свай в пределах опорной площади фундамента с учетом применения поправочных коэффициентов (k_p, k_ϕ, k_L, k_D), соответствующих параметрам применяемых свай, а также с учетом выделения угловых, краевых и центральных участков фундаментной плиты.

Разработанная программа «*CPRF-CFA*» позволяет использовать накопленные данные испытаний натуральных свай, статистически учитывать выявленные резервы их фактической несущей способности и использовать для регулирования осадок фундамента.

Поскольку метод испытания свай статической вдавливающей нагрузкой крупными ступенями (по 10%) предоставляет недостаточно данных для анализа сопротивления ее основания, выходом из положения является развитие и объединение двух методов:

- испытания висячей свай постоянно возрастающей нагрузкой (методом *ПВН*) с непрерывным наблюдением за осадкой и частой (с шагом 0,005 мм) синхронной регистрацией вдавливающей силы и осадки;
- статического зондирования.

В ходе исследований постоянно возрастающей нагрузкой *ПВН* испытывались натурные буровые висячие сваи $d = 420-800$ мм, $l = 8-23$ м, а также сваи малого диаметра $d = 100$ мм, $l = 1$ м. Нагрузка при этом прикладывалась с заданной скоростью увеличения вдавливающей силы:

$$P = B_p t, \quad (1)$$

где P – вдавливающая сила, B_p – скорость увеличения вдавливающей силы, t – время с начала нагружения, I – номер точки регистрации данных (P_I, s_I, t_I), $I = 1 \dots N_c, N_c$ – их конечное число, s_I – осадка свай.

Скорость B_p принята постоянной, чтобы осадка свай, вызванная ползучестью ее основания при заданном конечном значении вдавливающей силы P_{fin} , составляла не более 5%, т. е. чтобы консолидация основания свай состоялась на 95% за время нагружения.

Установлено, что скорость f и ускорение g осадки, вычисленные по формулам (2) и (3), изменяются циклически (рисунок 4). Цикличность скорости деформации объясняется реакцией на структурную перестройку грунтов (Г.И. Покровский, 1937; Г.И. Тер-Степанян, 1989; С.С. Вялов, 1978).

$$f_I = (s_I - s_{I-1}) / (P_I - P_{I-1}), \quad (2)$$

$$g_I = (f_I - f_{I-1}) / (P_I - P_{I-1}), \quad (3)$$

где s_I и s_{I-1} – текущее и предыдущее значения осадки при соответствующих значениях P_I и P_{I-1} вдавливающей силы.

В анализ работы основания сваи добавляются два измеряемых параметра: скорость f и ускорение g осадки. По ним осадка разделяется на циклы деформации (ЦД), а цикл деформации – на упругую Δs_e (нисходящая ветвь скорости осадки AB) и неупругую Δs_r (восходящая ветвь скорости осадки BC) части (рисунок 4).

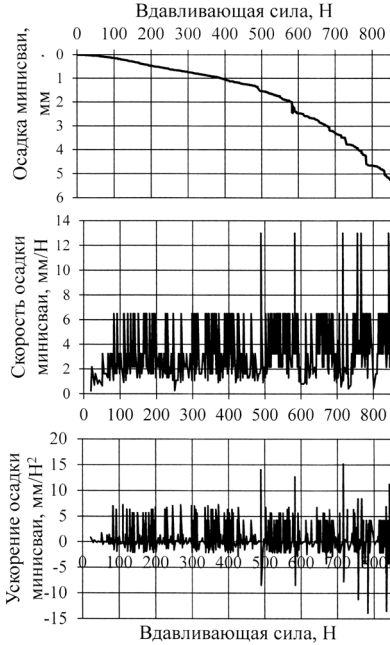


Рисунок 4 – Графики осадки, скорости и ускорения осадки сваи малого диаметра

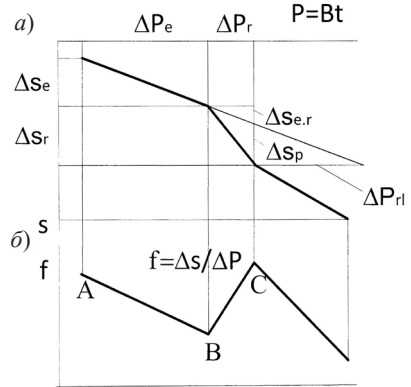


Рисунок 5 – Схема цикла осадки сваи (а) и скорости осадки сваи (б) с разделением на нисходящую AB и восходящую BC части

Нисходящая ветвь Δs_e отражает упругое торможение деформации всего основания сваи на приращении вдавливающей силы ΔP_e , восходящая ветвь Δs_r – ускорение деформации вследствие локальных разрушений грунта в основании сваи на приращении вдавливающей силы ΔP_r . Графики, полученные в ходе наблюдений за ползучестью основания сваи при заданном конечном значении вдавливающей силы $P_{fin} = \text{const}$, позволили описать её развитие во времени (С.С. Вялов, 1978):

$$s_p = A_{срп} \ln(1 + t_p / T_{срп}), \quad (4)$$

где s_p – деформация ползучести, t_p – время с начала наблюдения за ползучестью, $A_{ср}$ и $T_{ср}$ – параметры ползучести.

Испытание сваи постоянно возрастающей нагрузкой *ПВН* позволяет получить параметры сопротивления и деформации основания сваи: осадку s , силу сопротивления P , их приращения в цикле деформации (*ЦД*), разделенные на упругую и неупругую части: Δs_e и Δs_r и, соответственно, ΔP_e и ΔP_r . По ним рассчитываются упругая и пластическая части деформации основания сваи (рисунки 5) в i -ом цикле деформации:

– приращение упругой деформации в i -ом цикле деформации (*ЦД*):

$$\Delta s_{ec,i} = \Delta s_{e,i} (1 + \Delta P_{r,i} / \Delta P_{e,i}); \quad (5)$$

– приращение пластической деформации в i -ом цикле деформации:

$$\Delta s_{p,i} = \Delta s_{r,i} - \Delta s_{e,i} \Delta P_{r,i} / \Delta P_{e,i}; \quad (6)$$

– релаксация силы в i -ом цикле деформации:

$$\Delta P_{r,i} = \Delta P_{e,i} \Delta s_{r,i} / \Delta s_{e,i} - \Delta P_{r,i}, \quad (7)$$

где i – номер цикла деформации с начала нагружения сваи.

Разделение деформаций основания сваи на упругую и неупругую части позволило сформулировать условия подобия деформаций оснований разных свай. Усилия в основаниях разных свай в одном фундаменте подобны, если сваи подобны геометрически и их нижние концы находятся в одном грунтовом слое. Из уравнений (8) и (9) получены условия подобия (10) – (11) приращений сопротивлений оснований свай при заданных приращениях осадки в *ЦД*.

Уравнение равновесия упругих тел:

$$\frac{\partial \sigma_y^{(m)}}{\partial y^{(m)}} + \frac{\partial \tau_{yz}^{(m)}}{\partial z^{(m)}} = 0 \quad (8)$$

с подстановкой переменных, выраженных через характеристические вели-

чины $\sigma_y^{(m)} = \frac{P^{(m)}}{D^{(m)2}}$ и $y^{(m)} = L^{(m)}$, дает условия подобия упругих деформаций

оснований свай.

Уравнение равновесия пластических тел получено из условия равенства напряжений на поверхностях скольжения в основаниях испытываемой (m) и проектируемой (n) свай, соответственно, в одинаковых циклах деформации:

$$\frac{\Delta P_{r,i}^{(n)}}{\Phi_{z,i}^{(n)}} = \frac{\Delta P_{r,i}^{(m)}}{\Phi_{z,i}^{(m)}}, \quad (9)$$

где $\Phi^{(m)}$ и $\Phi^{(n)}$ – площади поверхностей скольжения.

Условия подобия в каждом цикле деформации имеют вид:

$$\Delta P_{e.i}^{(n)} = \Delta P_{e.i}^{(m)} \alpha_D^2 \alpha_L \text{ и } \Delta P_{r.i}^{(n)} = \Delta P_{r.i}^{(m)} \alpha_D^2, \quad (10)$$

$$\Delta s_{ec.i}^{(n)} = \Delta s_{ec.i}^{(m)} \text{ и } \Delta s_{p.i}^{(n)} = \Delta s_{p.i}^{(m)} \alpha_L, \quad (11)$$

где $\alpha_L = \ln(1 + \alpha_{lr} \Delta t_r^{(m)} / T_{crp}) / \ln(1 + \Delta t_r^{(m)} / T_{crp})$, $\alpha_D = D_P^{(n)} / D_P^{(m)}$, $\alpha_L = L_P^{(n)} / L_P^{(m)}$; $\alpha_{lr} = B_P^{(m)} / B_P^{(n)}$, где $D_P^{(n)}$ и $D_P^{(m)}$, а также $B_P^{(n)}$ и $B_P^{(m)}$ – диаметры, длины и скорости нагружения испытываемой (m) и проектируемой (n) свай, соответственно.

Сопrotивление одиночной проектируемой сваи рассчитывается по формуле:

$$P_1^{(n)} = \sum_{i=1}^U (\Delta P_{e.i}^{(n)} + \Delta P_{r.i}^{(n)}). \quad (12)$$

Сопrotивление проектируемой сваи в составе свайно-плитного фундамента с жесткой заделкой свай в плиту рассчитывается по формуле:

$$P_{gr}^{(n)} = \sum_{i=1}^U (\Delta P_{e.i}^{(n)} + \Delta P_{r.i}^{(n)} - \Delta P_{rl.i}^{(n)}). \quad (13)$$

Стабилизированная осадка основания сваи за время нагружения t_{fin} :

$$s^{(n)}(t_{fin}) = \sum_{i=1}^U (\Delta s_{ec.i}^{(n)} + \Delta s_{p.i}^{(n)}). \quad (14)$$

Стабилизированная осадка проектируемой сваи $s^{(n)}(t_{un})$ на заданную длительность t_{un} эксплуатации здания рассчитывается по формуле:

$$s^{(n)}(t_{un}) = \sum_{i=1}^U (\Delta s_{ec.i}^{(n)} + \Delta s_{p.i}^{(n)}) + s_p^{(n)}(t_{un}). \quad (15)$$

Условия подобия оснований действительны для свай, попадающих в область Ω статического зондирования с близкими значениями функций вероятностей лобового сопротивления M_μ (16). По данным статического зондирования определяется вероятность p_v значения лобового сопротивления $q_{v\mu}$ для каждой v -й глубины и для каждой μ -й точки статического зондирования, если их не менее 6-ти, где $p_v = q_{v\mu} / (\sum_{\mu=1}^{\Omega} q_{v\mu})$, и вычисляют математическое ожидание лобового сопротивления M_μ для всей области статического зондирования:

$$M_\mu = \sum_v p_v q_{v\mu}. \quad (16)$$

На площадке строительства выделяют области, в которых M_μ образуют группы значений с малыми коэффициентами вариации. Эти области можно считать однородными по лобовому сопротивлению зонду, следовательно, для свай, расположенных в них, выполняются условия подобия.

Поскольку свайные и свайно-плитные фундаменты должны быть рассчитаны в первую очередь по деформациям, были проведены численные исследования, позволившие обосновать коэффициенты для прогноза осадки свайного фундамента по результатам испытания одиночной сваи. Коэффициент ξ_s вычислен как отношение средней осадки всего фундамента s_{avr} к осадке одиночной сваи s_1 , к которой приложено удельное вертикальное усилие, зависящее от общего количества свай в фундаменте. Проанализировано более 100 расчетных схем с буровыми сваями в глинистых грунтах с шагом $3d-9d$ при переменной жесткости надземного строения и разных ступенях приложения нагрузки (рисунок 6).

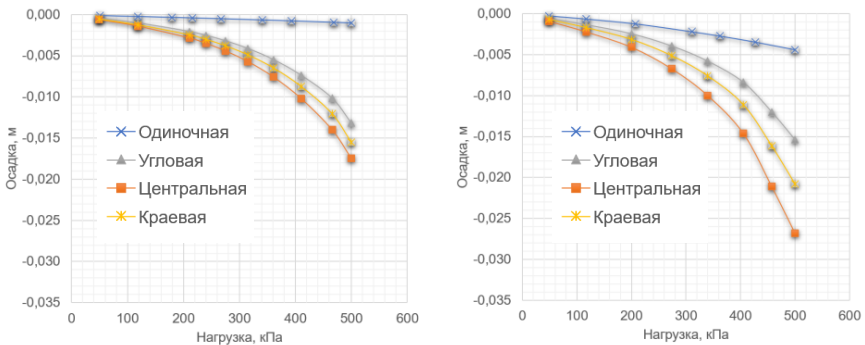


Рисунок 6 – Сопоставление осадки одиночной сваи с осадками угловой, краевой и центральной свай в составе группы при одинаковом значении проектной нагрузки на сваю: а) для шага свай $3d$; б) для шага свай $6d$

Установленные значения коэффициента ξ_s , зависящего от исходных данных решаемой задачи: межсвайного расстояния, жесткости фундаментной плиты и давления на ее подошве, – приведены в табличном виде в параграфе 3.7 диссертации.

Таким образом, разработанный аналитический метод позволяет рассчитать несущую способность проектируемых свай с разной площадью боковой поверхности по результатам их испытаний постоянно возрастающей нагрузкой с непрерывным наблюдением за осадкой; назначить схему свайного поля со сваями разного диаметра и длины, соответствующими действующим проектным нагрузкам от здания в особых условиях, а также дать прогноз осадки свайного фундамента с учетом выявленных коэффициентов, учитывающих групповой эффект.

В четвертом разделе рассматривается обоснование параметров для конструирования фундаментов многоэтажных и высотных зданий

на свайном основании с промежуточным распределительным слоем (*ПРС*). К параметрам для конструирования фундаментов относятся: толщина и физико-механические характеристики *ПРС*; длина и диаметр свай; межсвайное расстояние; объем материала на выполнение свай; жесткость фундаментов (надземного сооружения). Особенность рассматриваемого технического решения заключается в том, что между свайным полем и фундаментной плитой устраивается промежуточный распределительный слой (*ПРС*), позволяющий регулировать напряженно-деформированное состояние всей системы «свайное основание-фундамент-сооружение», в том числе при действии сейсмических нагрузок. Исследования выполнялись численно и аналитически (с разработкой аналитического метода расчета).

При проведении численных исследований толщина промежуточного распределительного слоя для всех расчетных случаев принята равной толщине фундаментной плиты (1,0 м). Рассмотрены следующие варьируемые параметры расчетной схемы: диаметр свай от 300 до 900 мм; шаг свай $3d-9d$; переменная длина свай при постоянном объеме введенного материала ($V_{const} = 200 \text{ м}^3$); жесткость фундаментной плиты от абсолютно гибкого до абсолютно жесткого; давление по подошве фундаментной плиты от 100 до 500 кПа (рисунок 7).

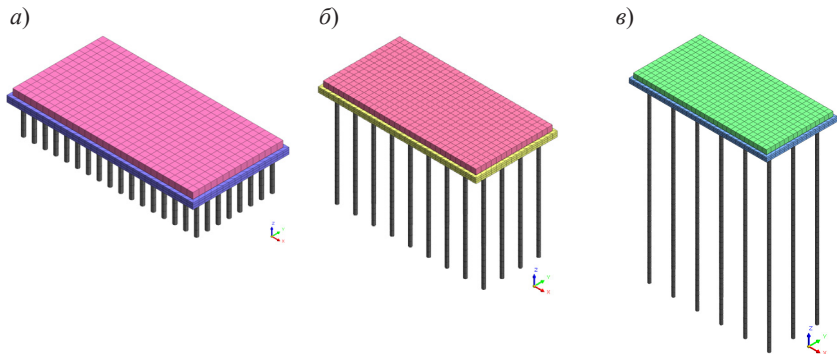


Рисунок 7 – Расчетные схемы с единым объемом материала для выполнения фундаментов при диаметре свай $d = 600 \text{ мм}$ и их шаге в плане: а) $3d$; б) $6d$; в) $9d$

Было установлено, что при введении *ПРС* доля нагрузки, передаваемая от надземного сооружения на грунтовое основание, при условии сохранения во всех расчетных случаях единого объема материала на изготовление свай, зависит от расстояния между ними, от их диаметров, а также от жесткости фундамента и составляет при шаге $3d$ – от 9 до 41 %, при шаге $6d$ – от 18 до 53 %, при шаге $9d$ – от 28 до 71 %.

при шаге $9d$ – от 32 до 65 %. Выявлено, что при одинаковом расходе материала на изготовление свай при одинаковой толщине промежуточного распределительного слоя наиболее рациональный шаг свай составляет $(5-7) d$.

Далее в ходе исследований получены коэффициенты k_{ef} , отражающие эффективность использования материала на изготовление свай. Коэффициент k_{ef} показывает отношение осадки свайного фундамента с ПРС к осадке фундаментной плиты на естественном основании при различной жесткости фундамента (рисунок 8).

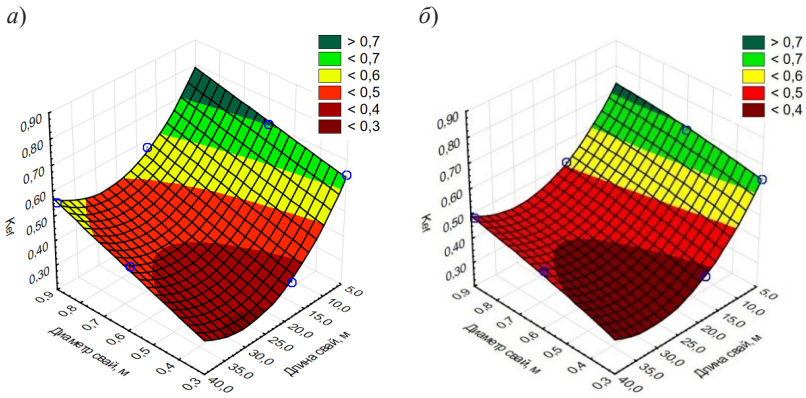


Рисунок 8 – Диаграммы изменения коэффициента эффективности k_{ef} использования материала свай при давлении по подошве плиты $P = 500$ кПа для: а) гибкой плиты $k_{ef}^{(fl500)}$, б) жесткой плиты $k_{ef}^{(rg500)}$

Для значений давления на подошве в интервале от 100 до 500 кПа и различной жесткости фундаментной плиты определены зависимости изменения коэффициента эффективности k_{ef} , которые приведены в диссертации (параграф 4.2).

Одним из главных критериев корректного взаимодействия промежуточного слоя со свайным основанием является совместность перемещений горизонтальной проектной плоскости ПРС и точек в уровне голов свай. Для анализа влияния параметров промежуточного распределительного слоя на деформации свайного основания была выбрана расчетная схема, включающая группу свай с различным шагом их расстановки: $3d$, $6d$, $9d$. На свайное основание, отделенное от плиты промежуточным распределительным слоем различной толщины, передается возрастающее от 100 кПа до 500 кПа давление. При этом плитная часть имеет различную жесткость в разных расчетных случаях (рисунок 9).

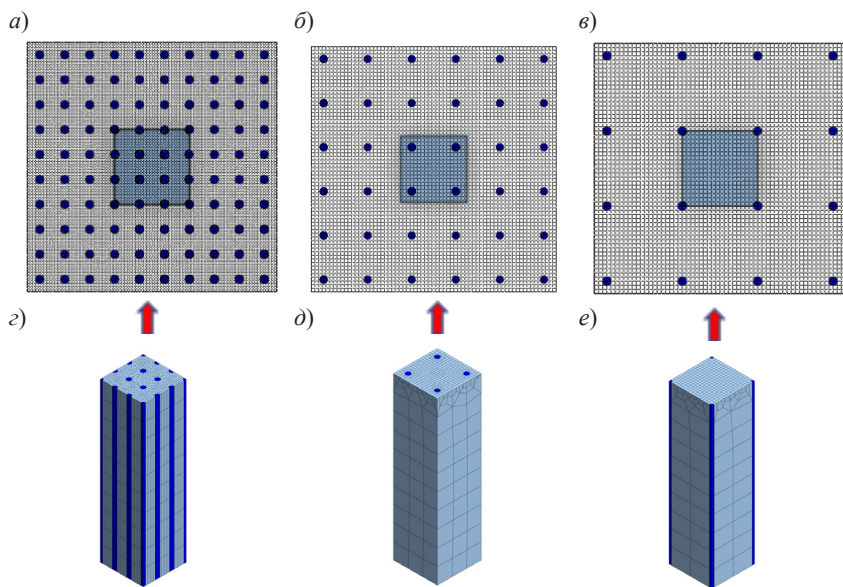


Рисунок 9 – Расчетные схемы свайного основания с различным шагом свай:
 а) $3d$; б) $6d$, в) $9d$. Фрагменты расчетных схем (c, д, e), соответствующие выделенным ячейкам

В результате проведенных численных исследований установлено, что рекомендуемая толщина промежуточного распределительного слоя может быть назначена в соответствии с выражением $h_{gc} = x(s - d)$, где h_{gc} – толщина ПРС, s – расстояние в плане между сваями, d – диаметр свай, $x = 0,36-0,78$ – эмпирический коэффициент, который назначается по результатам численных исследований в зависимости от межсвайного расстояния, давления на подошве плиты, а также жесткости фундамента. Рациональная толщина промежуточного слоя использована при составлении рекомендаций по конструированию фундаментов с применением ПРС (параграф 4.6).

Введение промежуточного распределительного слоя между свайным полем и фундаментной плитой является наиболее эффективным решением при действии сейсмических и других динамических нагрузок. Наличие ПРС приводит к существенному снижению поперечных и моментных усилий в сваях, что обеспечивает устойчивость окружающего их грунта. Для оценки эффективности использования ПРС при горизонтальных и моментных сейсмических нагрузках проведены численные исследования в объемной постановке при сейсмической интенсивности в 7, 8 и 9 баллов, которые были описаны акселерограммами реальных землетрясений (рисунок 10).

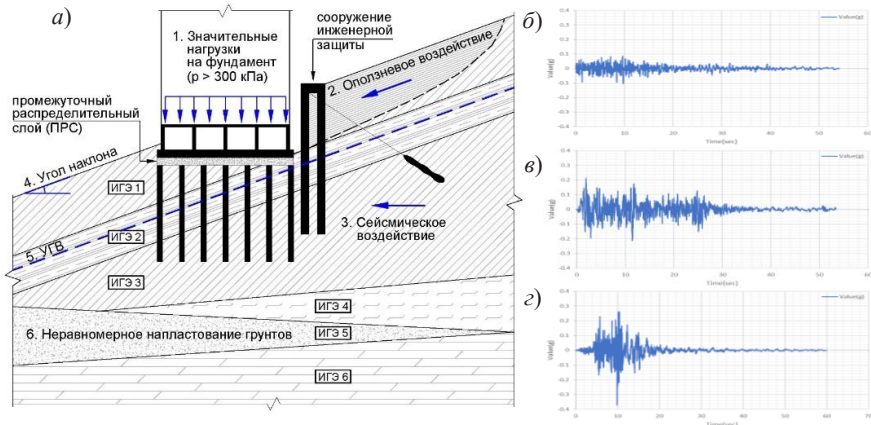


Рисунок 10 – Расчетная схема (а) фундамента с промежуточным распределительным слоем в особых условиях:

- 1 – давление по подошве фундамента более 300 кПа, 2 – оползневое воздействие, 3 – сейсмическое воздействие, 4 – угол наклона рельефа более 20 град., 5 – высокий уровень подземных вод, 6 – неравномерное напластование грунтов; б), в), з) акселерограммы сейсмических воздействий для 7, 8, 9 баллов соответственно

Для оценки влияния оползневого процесса на заглубленные части многоэтажных и высотных зданий, расположенных в особых условиях, используется метод межотсековых сил (ОДМ 218.2.053-2015), в котором также учитывается уровень подземных вод и действие сейсмической составляющей Q_i^c . В этом случае при разбивке оползневого блока на отсеки сейсмические силы учитываются по отдельности для каждого отсека, затем их суммируют со сдвигающими силами. Определяется коэффициент устойчивости k_{st} оползнеопасного склона с учетом гидростатического взвешивания и угла наклона равнодействующей фильтрационного давления.

В рамках выполнения настоящей работы принято, что все оползневое давление передается на отдельно стоящее сооружение инженерной защиты (что соответствует практике строительства подобных объектов) и с фундаментами зданий не взаимодействует (рисунок 10а).

В ходе численных исследований влияния промежуточного распределительного слоя проводилось сравнение усилий в сваях для вариантов с их жесткой заделкой в плиту и при устройстве ПРС (рисунок 11). При выполнении расчетов учитывалось снижение прочностных характеристик грунта в зависимости от исходной балльности (СП 269.1325800.2016).

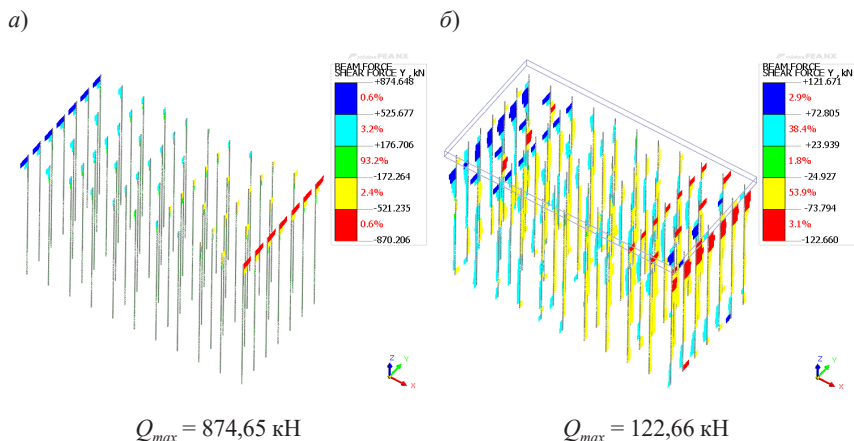


Рисунок 11 – Сравнение результатов расчета поперечных сил в сваях при сейсмическом воздействии интенсивностью 7 баллов (вдоль оси OX) для вариантов фундамента: а) с жесткой заделкой свай в плиту; б) с введением промежуточного распределительного слоя

Установлено, что при интенсивности сейсмического воздействия в 7–9 баллов максимальные поперечные силы в верхней части сваи для варианта фундамента с *ППС* снижаются в 7,13–14,15 раз по сравнению с жесткой заделкой. Основное внимание при конструировании таких фундаментов должно быть уделено выбору рационального размещения свай в пределах опорной площади фундамента (подбору их шага, длины, диаметра и общего объема материала), а также обоснованию параметров *ППС*: толщины, прочностных и деформационных характеристик, что было детально исследовано в диссертационной работе.

Далее в разделе разработан новый аналитический метод расчёта промежуточного распределительного слоя (*ППС*) из условий равенства сил и равенства работ упругих деформаций фундаментной плиты, промежуточного распределительного слоя, свай и грунта основания (*ГО*) при их совместной работе под нагрузкой от здания.

Материал *ППС* уплотняют до максимального значения. Производятся испытания: промежуточного распределительного слоя – штампом, установленном соосно свае; сваи – статической вдавливающей нагрузкой; грунта основания – штампом, нагружаемым постоянно возрастающей нагрузкой (рисунок 12).

Расчеты усилий в сваях, доли сопротивления основания k_b , осадки фундамента s_f и грунта основания s_b производятся с помощью системы

уравнений равенства сил (17) и равенства работ (18) деформаций элементов фундамента в пересчете на выделенную ячейку ПРС:

$$N_f = N_p + P_b \quad (17)$$

$$A_f = A_{gc} + A_p + A_b, \quad (18)$$

где N_f – нагрузка от здания, N_p – усилие в свае, P_b – сопротивление грунта основания (ГО); A_p, A_b – работы деформаций фундаментной плиты и сваи; A_{gc} и A_b – работы деформаций ПРС и ГО, соответственно.

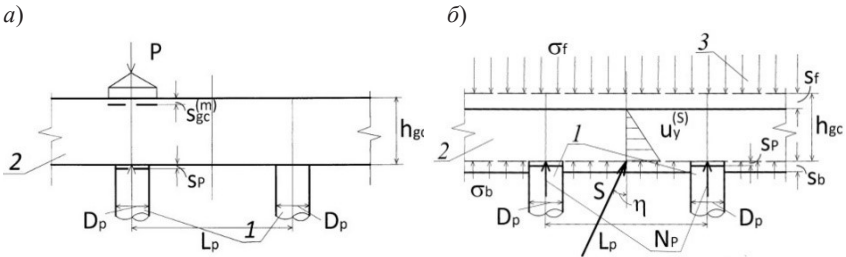


Рисунок 12 – Схемы испытания промежуточного распределительного слоя (а) и нагружения его фундаментной плитой (б): 1 – сваи; 2 – промежуточный распределительный слой; 3 – нагрузка от здания

Примем, что $N_f = \sigma_f L_p$, где σ_f – давление от здания по подошве фундаментной плиты, L_p – расстояние между сваями; $N_p = f_p(s_p)$, где s_p – осадка сваи; $P_b = \sigma_b F_b$, где $F_b = L_p^2 - \pi D_p^2 / 4$, σ_b – давление на основание ПРС.

Результаты испытаний ПРС и ГО штампом представляются в аналитической форме: $s_{pgc} = f_{gc}(\sigma_f)$, где $s_{pgc}^{(m)}$ – осадка штампа на ПРС; $s_b = f_b(\sigma_b)$, где s_b – осадка штампа при испытании грунта основания.

Испытания штампом грунта основания производят методом постоянно возрастающей нагрузки с непрерывным измерением его осадки, что позволяет разделить деформации на упругие и пластические, как и в случае свай, и вычислить приращения работы упругой и пластической составляющей в каждом цикле скорости деформации (см. содержание раздела 3).

Приращения работы в i -ом цикле деформации (ЦД) вычислены по формулам:

– для упругой деформации:

$$\Delta A_{e,i} = F_b [(\sigma_{i-1} + \Delta\sigma_{e,i}/2) \Delta s_{e,i}/2 + (\sigma_{i-1} + \Delta\sigma_{e,i} + \Delta\sigma_{ri}/2) \Delta s_{eri}/2], \quad (19)$$

– для пластической деформации:

$$\Delta A_{pl,i} = F_b (\sigma_{i-1} + \Delta\sigma_{e,i} + \Delta\sigma_{ri}/2) \Delta s_{pl,i}/2 \quad (20)$$

Суммируя эти приращения до произвольного k -ого ЦД, получаем изменение работ деформаций с ростом нагрузки на штамп:

$$A_{e.k} = \sum_{i=1}^k \Delta A_{e.i}; \quad (21)$$

$$A_{pl.k} = \sum_{i=1}^k \Delta A_{pl.i}. \quad (22)$$

Отношение работ упругой и пластической деформаций выражено через долю работы упругой деформации в общей работе:

$$k_{A.e}^{(k)} = A_{e.k} / (A_{e.k} + A_{pl.k}). \quad (23)$$

Изменение доли работы упругой деформации можно разделить на три стадии по интенсивности изменения с ростом давления σ_f .

Упругие части работы деформации материала ПРС и грунта основания определяются с помощью коэффициентов (23):

$$A_{gc.e} = A_{gc} k_{A.e}^{(3)}, \quad (24)$$

$$A_{b.e} = A_b k_{A.e}^{(1)} \quad (25)$$

и подставляются в уравнение (18) вместо A_{gc} и A_b соответственно. Работа осадки фундаментной плиты на n ступенях нагрузки на испытательный штамп:

$$A_f = \sum_{i=1}^n (s_{f,i} - s_{f,i-1}) \frac{N_{f,i} + N_{f,i-1}}{2}, \quad (26)$$

где $s_{f,i}$ и $s_{f,i-1}$ – осадка фундаментной плиты на текущей и предыдущей ступенях нагрузки.

Определяется работа сжатия материала ПРС на тех же n ступенях нагрузки на фундаментную плиту:

$$A_{gc} = (1 + 2\xi_{gc}) / 3L_P^2 \sum_{i=1}^n (\varepsilon_{gc,i} - \varepsilon_{gc,i-1}) \frac{\sigma_{f,i} + \sigma_{f,i-1}}{2}, \quad (27)$$

где ξ_{gc} – коэффициент бокового давления материала ПРС; $\varepsilon_{gc,i} = s_{gc,i} / h_{gc}$ – относительная деформация сжатия ПРС.

$$s_{gc,i} = s_{f,i}, \quad (28)$$

где $s_{gc,i} = f_{gc}(\sigma_{gc,i})$; $s_{f,i}$ – осадка фундаментной плиты на i -ой ступени нагрузки.

Работа деформации сваи на n ступенях нагрузки на сваю:

$$A_p = \sum_{i=1}^n (s_{p,i} - s_{p,i-1}) \frac{N_{p,i} + N_{p,i-1}}{2}. \quad (29)$$

Работа деформации грунта основания на n ступенях нагрузки на испытательный штамп:

$$A_b = (1 + 2\xi_b) / 3F_b \sum_{i=1}^n (\varepsilon_{b,i} - \varepsilon_{b,i-1}) \frac{\sigma_{b,i} + \sigma_{b,i-1}}{2}, \quad (30)$$

где ξ_b – коэффициент бокового давления грунта основания; $\varepsilon_{b,i} = s_{b,i}/h_b$ – относительная деформация сжатия ПРС; $s_{b,i}$ – осадка грунта основания на i -ой ступени нагрузки.

Решая совместно уравнения (17) и (18) с учетом взаимосвязи входящих в них величин, получаем зависимость осадки s_f фундаментной плиты от расстояния между осями свай (рисунок 13) и доли k_b сопротивления основания промежуточного распределительного слоя в общем сопротивлении основания (рисунок 14). Доля сопротивления грунта основания увеличивается с увеличением межсвайного расстояния и может достигать 27–30%.

Таким образом, на основе данных опытных работ получены зависимости, позволяющие назначать параметры фундаментов с применением ПРС для многоэтажных и высотных зданий.

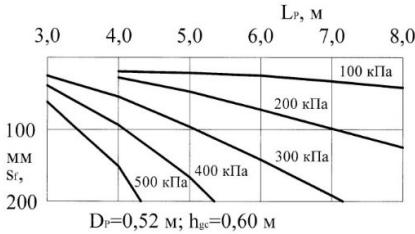


Рисунок 13 – Зависимость осадки s_f фундаментной плиты от расстояния между осями свай при давлениях на подошве плиты $\sigma_f = 100$ –500 кПа при толщине ПРС $h_{gc} = 600$ мм

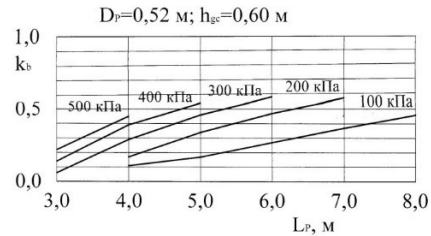


Рисунок 14 – Доля k_b сопротивления основания промежуточного распределительного слоя в общем сопротивлении основания в зависимости от межсвайного расстояния L_p

При проектировании фундаментов в особых условиях необходим учет сейсмического воздействия. Во время землетрясения выделенная ячейка ПРС испытывает сейсмическую силу S со стороны ГО (рисунок 12б):

$$S = \sigma_f L_p^2 k_s, \quad (31)$$

где k_s – сейсмический коэффициент (СП 14.13330.2011), σ_f – давление от здания на подошве фундаментной плиты, L_p – расстояние между сваями.

Сейсмическая сила S направлена под углом η к вертикали, ее вертикальная составляющая S_z вызывает сжатие $ППС$ на величину $s_{gc}^{(s)}$, а горизонтальная S_y – сдвиг $u_y^{(s)}$ $ППС$ на уровне подошвы:

$$S_z = S \cos \eta, \quad (32)$$

$$S_y = S \sin \eta, \quad (33)$$

Примем, что деформации $s_{gc}^{(s)}$ и $u_y^{(s)}$ линейно изменяются по толщине слоя, а их граничные значения связаны между собой функцией угла внутреннего трения φ_{gc} :

$$s_{gc}^{(s)} = u_y^{(s)} \operatorname{tg} \varphi_{gc}. \quad (34)$$

Сейсмическая сила S_y совершает работу деформации сдвига $ППС$, которая содержит упругую и пластическую составляющие. Пластическая работа переходит в тепловую энергию, упругая составляющая равна доле работы $A_f^{(s)}$ деформации фундаментной плиты как жесткого недеформируемого тела:

$$A_f^{(s)} = A_{gc.e}^{(s)}, \quad (35)$$

где $A_{gc.e}^{(s)}$ – работа упругой деформации $ППС$ в ячейке фундаментной плиты.

Вычислим работу перемещения фундаментной плиты $A_f^{(s)}$ и работу упругих деформаций $A_{gc.e}^{(s)}$ в ячейке $ППС$ в предположении линейной связи усилий и перемещений и с учетом (34):

$$A_f^{(s)} = \left(S_z s_f^{(s)} + S_y u_y^{(s)} \right) / 2; \quad (36)$$

$$A_{gc.e}^{(s)} = G \left[\frac{1 - \nu_{gc}}{1 - 2\nu_{gc}} \left(\frac{s_{gc}^{(s)}}{h_{gc}} \right)^2 + \frac{1}{2} \left(\frac{u_y^{(s)}}{h_{gc}} \right)^2 \right] h_{gc} L_P^2 / 2 \quad (37)$$

Подставляя (36) и (37) в (35), вычисляем упругое горизонтальное перемещение фундаментной плиты $u_y^{(s)}$ и дополнительную осадку $s_{gc}^{(s)} = s_f^{(s)}$, которые должны быть учтены при назначении параметров $ППС$ в сейсмических районах. На рисунке 15 приведены рассчитанные величины упругих перемещений фундаментной плиты при сейсмическом воздействии в 8 баллов по шкале MSK-64 при разных значениях давления на подошве. На рисунке 16 показаны графики упругих перемещений фундаментной плиты при сейсмическом воздействии в 8 баллов по шкале MSK-64 при разных значениях угла внутреннего трения материала $ППС$ (при толщине $ППС = 0,8$ м).

В результате проведенных исследований установлены закономерности взаимодействия свайного поля и фундаментной плиты, разделенных

промежуточным распределительным слоем; разработан новый аналитический метод расчёта промежуточного распределительного слоя; разработаны рекомендации по конструированию фундаментов с применением промежуточного распределительного слоя при многоэтажном и высотном строительстве в особых условиях, в том числе с учетом сейсмических воздействий. Содержание рекомендаций приведено в параграфе 4.6 основного текста диссертации.

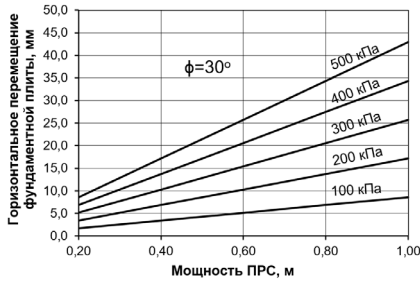


Рисунок 15 – Графики упругих деформаций $u_y^{(S)}$ фундаментной плиты при сейсмическом воздействии в 8 баллов по шкале MSK-64 при разных значениях давления на подошве фундамента

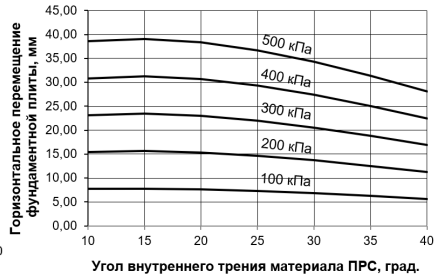


Рисунок 16 – Графики упругих деформаций $u_y^{(S)}$ фундаментной плиты при сейсмическом воздействии в 8 баллов по шкале MSK-64 при разных значениях угла внутреннего трения материала ПРС

В пятом разделе приводятся новые способы проектирования и строительства свайных и свайно-плитных фундаментов в особых условиях. Способы разделены на следующие три группы: устройство фундаментов с заданной начальной осадкой плитной части; с использованием свай разной длины и их последовательным включением в совместную работу с плитной частью; с возможностью управления осадками фундаментов в процессе строительства.

1. Способы строительства свайно-плитных фундаментов с заданной начальной осадкой плитной части.

Предлагаемый на рисунке 17 способ выполнения фундамента (патент РФ № 2379425) включает устройство свайного поля и плиты-ростверка, где сваи погружают по периметру фундамента, а плиту-ростверк выполняют из двух частей – внешней, имеющей уступы сверху, сразу опирающейся на сваи, и внутренней – с уступами снизу, которая опирается на внешнюю часть плиты. При этом после достижения расчетной осадки внешнюю и внутреннюю части плиты-ростверка жестко объединяют, обеспечивая совместную работу свайно-плитного фундамента.

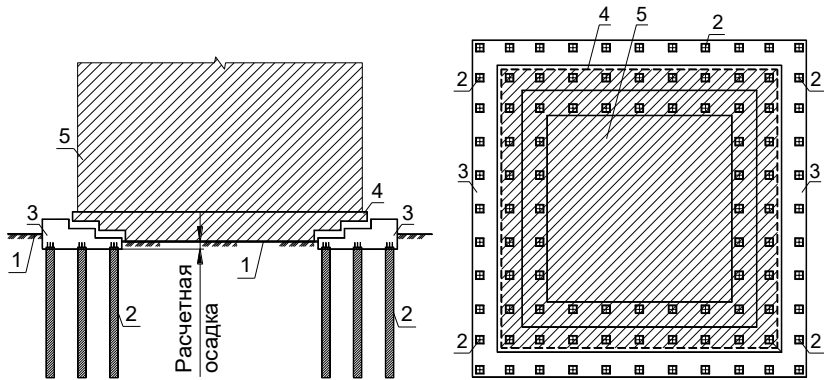


Рисунок 17 – Схема возведения свайно-плитного фундамента:
 1 – подготовленная поверхность грунта; 2 – периметральные сваи, объединенные плитой-ростверком 3; 4 – фундаментная плита с проектной конфигурацией; 5 – высотное здание (патент РФ № 2379425)

В первую группу способов входят также: способ возведения свайно-плитного фундамента (патент РФ № 2378454); свайно-плитный фундамента (патент РФ № 2331738).

2. *Использование свай разной длины с заданными этапами их включения в совместную работу с плитной частью.*

Краткое описание входящих в группу способов приведено ниже.

Способ, представленный на рисунке 18, (патент РФ № 2300604) предполагает, что для увеличения доли нагрузки, приходящейся на плиту, необходимо обеспечить плите возможность получить на начальном этапе развития осадок большую величину перемещения. Это возможно, если взаимодействие плиты и свай начнется после того, как плита претерпит определенную заданную начальную осадку. Результат достигается, если в свайно-плитном фундаменте предусматриваются сваи разной длины, из которых основные – длинные сваи – расположены непосредственно под несущими элементами здания и включаются в совместную работу после того, как фундаментная плита получит определенную долю осадки, т. е. на заданном (контролируемом) этапе включения свай в совместную работу с плитной частью.

Во вторую группу способов входят также: способ возведения буронабивной сваи повышенной несущей способности для строительства в сейсмических районах (патент РФ № 2761795); фундамента (патент РФ № 2320820).

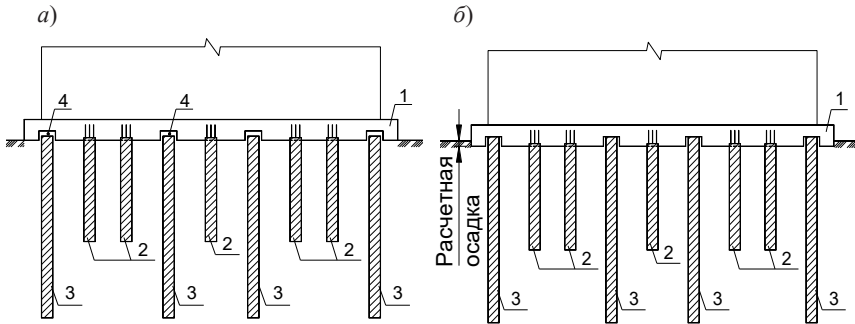


Рисунок 18 – Способ строительства свайно-плитных фундаментов в сейсмических районах: а) начальный этап развития деформаций – осадка плиты с короткими, жестко заделанными сваями; 1 – фундаментная плита; 2 – короткие сваи, жестко заделанные в плиту; 3 – длинные сваи, отделенные от плиты расчетным зазором 4; б) конечный этап развития деформаций – вовлечение длинных свай в работу свайно-плитного фундамента (патент РФ № 2300604)

3. Способы с возможностью управления осадками фундаментов многоэтажных и высотных зданий в процессе строительства.

Входящие в группу способы приведены ниже.

Разработанный способ возведения свайно-плитного фундамента (рисунок 19) позволяет добиться наибольшей эффективности за счет последовательного включения элементов фундамента в совместную работу (патент РФ № 2513050). Зачастую при строительстве высотных объектов перекрестно-стенные конструктивные схемы применяются ввиду их высокой пространственной жесткости и несущей способности. В том числе такая схема позволяет в рамках действующих нормативных документов предусматривать наибольшую этажность для сейсмических районов.

В третью группу способов входят также: способ регулирования кренов свайно-плитного фундамента в сейсмических районах на неравномерно сжимаемых грунтах (патент РФ № 2734750); плитный фундамент на неравномерно сжимаемом основании с возможностью регулирования кренов (патент РФ № 2731969).

На основании проведенных исследований, а также разработанных новых способов строительства свайных и свайно-плитных фундаментов были составлены рекомендации по проектированию и строительству фундаментов с учетом заданной этапности их выполнения в особых условиях (параграф 5.5 диссертации).

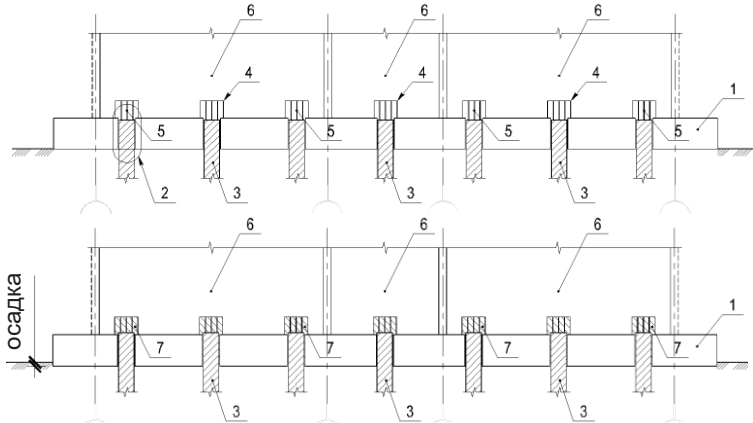


Рисунок 19 – Способ возведения свайно-плитного фундамента: 1 – плита-ростерк; 2 – сквозное отверстие в плите; 3 – проектные сваи; 4 – ниши над головами свай в несущих стенах; 5 – арматурные выпуски свай для формирования жестких узлов; 6 – несущие стены; 7 – бетон для заполнения ниш в стенах при достижении заданной величины осадки плиты (патент РФ № 2513050)

В шестом разделе приведена разработанная классификация методов расчета и конструирования фундаментов многоэтажных и высотных зданий в особых условиях, включающая впервые внедренные в практику строительства эффективные конструкции фундаментов, расположенные в сейсмических районах, в том числе на участках со значительным перепадом отметок рельефа (рисунок 20).

Таблица 2 – Условные обозначения исследованных методов расчета и конструирования фундаментов многоэтажных и высотных зданий

	Метод расчета и конструирования фундаментов на основании результатов исследования параметров взаимодействия с грунтом одиночных свай и свай в составе группы
	Метод расчета и конструирования свайных фундаментов с применением промежуточного распределительного слоя
	Метод регулирования неравномерных осадок фундаментов путем повышения их пространственной жесткости
	Метод конструирования фундаментов с учетом их адаптации к переменной поверхности рельефа
	Метод строительства фундаментов с учетом последовательности выполнения постоянных и временных деформационных швов
	Метод устройства фундаментов с заданной последовательностью включения элементов в совместную работу

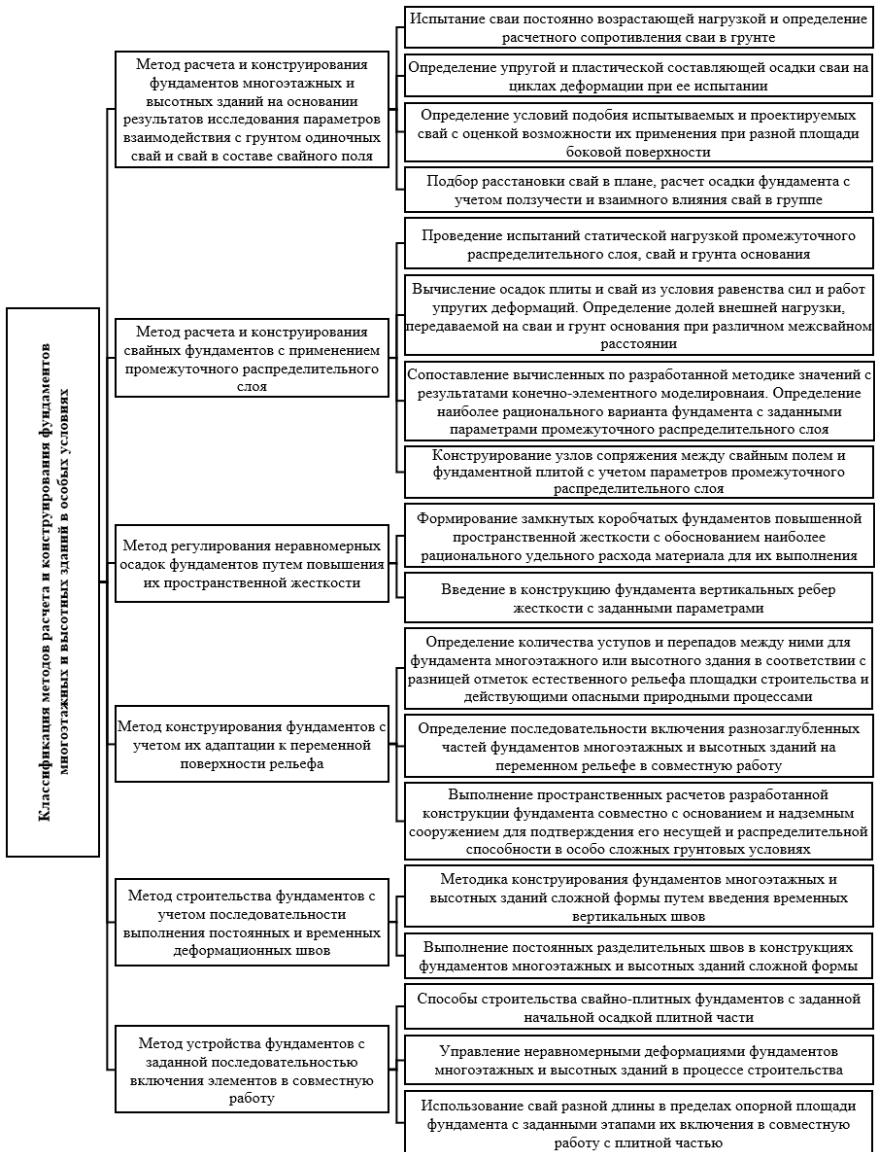


Рисунок 20 – Классификация методов расчета и конструирования фундаментов многоэтажных и высотных зданий в особых условиях

Внедрение разработанных методов расчета и конструирования фундаментов в особых условиях Юга России осуществлено более чем на 50 объектах многоэтажных и высотных зданий (рисунки 21–25).

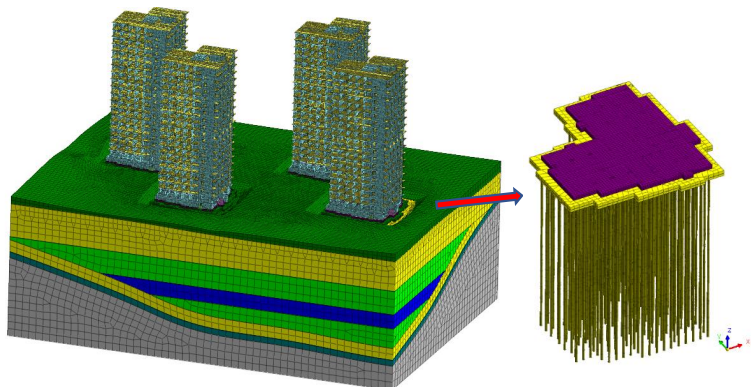


Рисунок 21 – Пример реализации метода расчета и конструирования фундаментов многоэтажных зданий по ул. Гастелло в г. Сочи с применением промежуточного распределительного слоя

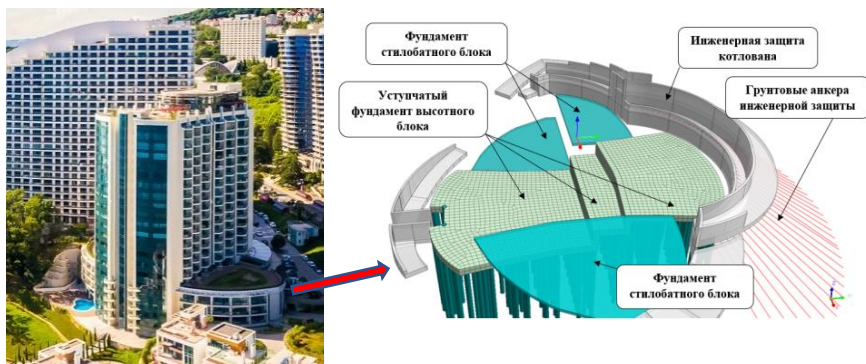


Рисунок 22 – Пример реализации метода расчета и конструирования фундамента многоэтажного здания по ул. Курортный Проспект в г. Сочи с учетом адаптации к переменной поверхности рельефа

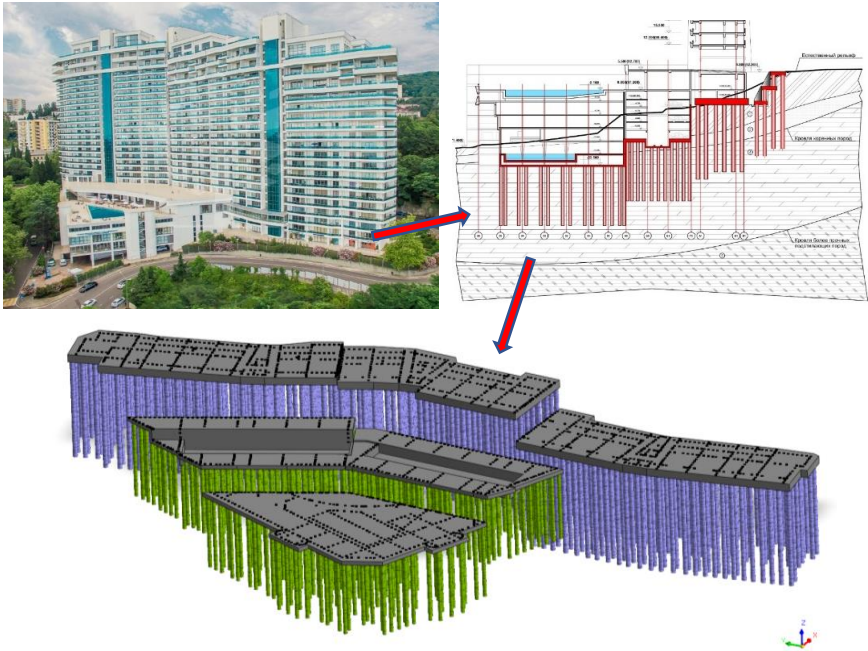


Рисунок 23 – Пример реализации метода расчета и конструирования фундамента многоэтажного здания по ул. Бытха в г. Сочи с учетом последовательности выполнения временных деформационных швов

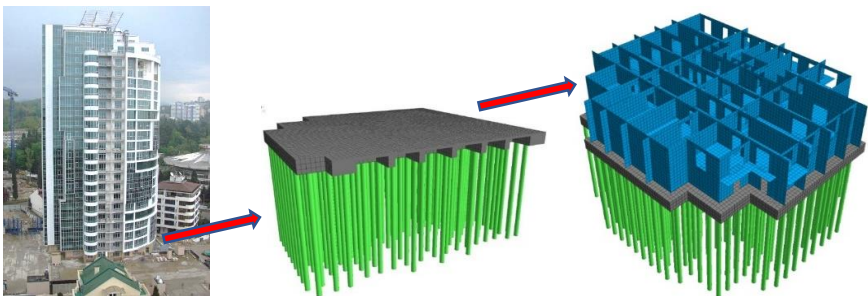


Рисунок 24 – Пример реализации метода расчета и конструирования фундамента многоэтажного здания по ул. Гагринской в г. Сочи путем повышения его пространственной жесткости

На примере территории города Сочи приведена схема внедрения разработанных в диссертации методов выполнения фундаментов (рисунок 25).



Рисунок 25 – Карта-схема города Сочи (часть карты) с привязкой разработанных автором методов строительства фундаментов в особых условиях (применительно к реализованным многоэтажным и высотным зданиям)

Разработанная классификация методов расчета и конструирования фундаментов многоэтажных и высотных зданий в особых условиях помогает избежать ошибок на этапе выбора проектных решений и позволяет обеспечить безопасность объектов в течение периода их возведения и эксплуатации, снижает риски инвестиций в строительство.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Выявлены признаки формирования особых условий при застройке территории Юга России многоэтажными и высотными зданиями, заключающиеся в сочетании различных факторов, к которым относятся: высокая расчетная сейсмичность территории, наличие оползневых процессов, переменный рельеф, незакономерное чередование грунтовых разностей в пределах инженерно-геологического разреза. Выявленные признаки обосновали необходимость развития методов расчета и конструирования фундаментов многоэтажных и высотных зданий.

2. Выполнено обобщение многолетних результатов полевых испытаний буровых натуральных свай в песчано-глинистых грунтах по выделенным критериям (несущая способность F_d , диаметр d , соотношение длины к диаметру l/d), соответствующих практике проектирования и строительства свайных фундаментов в особых условиях Юга России.

3. Предложен способ оценки фактической несущей способности свай с использованием эмпирических поправочных коэффициентов при назначении параметров свайного фундамента; усовершенствована программа для ЭВМ «*CPRF-CFA*», позволяющая определять рациональное размещение буровых свай в пределах опорной площади фундамента.

4. Разработан метод испытания буровых висячих свай постоянно возрастающей нагрузкой с синхронной регистрацией вдавливающей силы, осадки и времени, что позволило выявить неравномерность роста осадки свай, вызванную перестройкой структуры грунта при нагружении. Установлен циклический характер скорости и ускорения осадки свай, что позволило выделить упругие и пластические деформации, а также определить соотношение их долей.

5. Разработан метод расчета несущей способности проектируемых свай с разными размерами боковой поверхности, базирующийся на данных их испытаний постоянно возрастающей нагрузкой с использованием коэффициентов подобия, обоснованных разделением деформации на упругую и пластическую составляющую, использующий результаты оценки деформационной однородности грунтов основания строительной площадки по данным статического зондирования.

6. Проведены численные исследования для определения параметров свайных фундаментов с промежуточным распределительным слоем, позволившие установить закономерности распределения осадок фундаментной плиты в зависимости от параметров свайного поля, жесткости надземного строения, а также стадийности приложения нагрузки; разработаны соответствующие рекомендации по конструированию свайных фундаментов

для многоэтажных и высотных зданий в особых условиях Юга России, в том числе с учетом сейсмических воздействий.

7. Разработан аналитический метод расчёта промежуточного распределительного слоя, позволяющий определить значения доли внешней нагрузки, воспринимаемой межсвайным грунтом в зависимости от расстановки свай в плане. Метод основан на условиях равенства сил и равенства работ упругих деформаций фундаментной плиты, промежуточного распределительного слоя, свай и грунта основания при их совместной работе под нагрузкой от здания, в том числе с учетом сейсмических воздействий.

8. Предложены новые способы проектирования и строительства свайных и свайно-плитных фундаментов в сейсмических районах: с заданной начальной осадкой плитной части; с использованием свай разной длины и их последовательным включением в совместную работу с плитной частью; с возможностью управления осадками фундаментов в процессе строительства.

9. Разработана классификация методов расчета и конструирования фундаментов многоэтажных и высотных зданий в особых условиях Юга России. Внедрены в практику строительства эффективные конструкции фундаментов, обладающие патентной новизной, адаптированные к сложным грунтовым условиям эксплуатации многоэтажных и высотных зданий, расположенных в сейсмических районах, в том числе на участках со значительным перепадом отметок рельефа.

10. Подготовлена карта-схема города Сочи с привязкой разработанных автором методов строительства фундаментов в особых условиях Юга России (применительно к реализованным многоэтажным и высотным зданиям).

11. Разработанные методы расчета и конструирования фундаментов получили широкое применение в практике проектирования, строительства многоэтажных и высотных зданий в сейсмических районах Юга России, в том числе при реконструкции и развитии инфраструктуры таких городов как Краснодар, Сочи, Новороссийск, Анапа, а также при строительстве фундаментов зданий олимпийской деревни в рамках подготовки Зимних Олимпийских Игр, прошедших в 2014 году в г. Сочи. Результаты исследований используются в проектной практике крупных проектно-исследовательских организаций Юга России, при чтении лекций и проведении практических занятий для студентов архитектурно-строительного факультета Кубанского государственного аграрного университета им. И.Т. Трубилина. Сформулированы перспективы дальнейшей разработки темы исследований.

ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Публикации в изданиях, индексируемых в международных базах цитирования Scopus и Web of Science

1. Shadunts K. Sh., Marinichev M. B., Analysis of buildings and structures on complex nonuniformly compressible foundation beds // Soil Mechanics and Foundation Engineering, 2003, 40(2), Pp. 42–47 (2003).
2. Marinichev M. B., Marshalka A. Yu. Geotechnical problems with recultivation of domestic-waste landfills // Soil Mechanics and Foundation Engineering, 2012, 49(5), Pp. 188–191 (2012).
3. Marinichev M. B., Tkachev I. G. Foundations design and construction for high-rise buildings in seismic areas // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 918, 012020 (2020).
4. Marinichev M. B. Geotechnical solutions for high-rise construction in the areas with significant elevation // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 913(4), 042007 (2020).
5. Marinichev M. B., Tkachev I. G. Regulation of additional settlements of dense urban infrastructure objects during execution of deep excavations and raft-pile foundation of high-rise buildings // Journal of Physics: Conference Series, Volume 1928, Issue 1, article id. 012039 (2021).
6. Marinichev M. B. The influence of the shape of high-rise buildings on the design features and methods of making foundations in difficult soil conditions // Interagromash 2022: E3S Web of Conferences 363, 02013 (2022).
7. Shuhong W., Yang Bo, Furui D., Marinichev M., Zhang Ze. Determination of the influence of the disturbance caused by traversing cross-type deep foundation pit excavations // Sustainability 2023, 15, 1130 (2023).
8. Marinichev M. B., Lyashenko P. A., Denisenko V. V. Modeling of the resistance of a bored hanging pile // Interagromash 2022: LNNS 574, (2023).
9. Polishchuk A. I., Marinichev M. B., Tkachev I. G. Evolution of the foundation design methods for multi-storey and high-rise buildings in seismic regions // 17th Asian Regional Conference on Geotechnical Engineering (17 ARC). – CRC/Balkema, (2023) (в печати).

Статьи в журналах, включенных в перечень ВАК

10. Шадунц К. Ш. К проектированию тяжелых сооружений на слабых грунтах / Шадунц К. Ш., Мариничев М. Б. // Жилищное строительство. – 2002. – №12. – С. 5–6.
11. Шадунц К. Ш. Плитные фундаменты многоэтажных зданий на просадочных грунтах / Шадунц К. Ш., Мариничев М. Б. // Жилищное строительство. – 2003. – №11. – С. 16–18.

12. Шадунц К. Ш. Расчеты сейсмостойкости реконструируемых зданий / Шадунц К. Ш., Мариничев М. Б. // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2003. – №6. – С. 3–5.

13. Шадунц К. Ш. Особенности деформаций днищ резервуаров / Шадунц К. Ш., Мариничев М. Б., Угринов В. В. // Промышленное и гражданское строительство. – 2004. – № 3. – С. 28–29.

14. Джантимиров Х. А. Развитие методов расчета и проектирования оснований и фундаментов с использованием буроинъекционных свай в сейсмических районах / Джантимиров Х. А., Ставницер Л. Р., Шадунц К. Ш., Мариничев М. Б. и др. // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. – 2006. – № 2. – С. 10–14.

15. Шадунц К. Ш. Особенности планирования городской застройки с учетом грунтовых условий строительных площадок / Шадунц К. Ш., Мариничев М. Б., Халимова Л. А. // Промышленное и гражданское строительство. – 2006. – № 4. – С. 57–58.

16. Мариничев М. Б. Реализация нестандартных конструктивных решений в высотном строительстве на основе использования современных буровых технологий / Мариничев М. Б., Маршалка А. Ю. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2009. – № 54 (10). – С. 1–8.

17. Мариничев М. Б. Эффективные фундаментные конструкции в сложных грунтовых условиях / Мариничев М. Б., Шадунц К. Ш., Маршалка А. Ю. // Промышленное и гражданское строительство – 2013. – № 2. – С. 34–36.

18. Мариничев М. Б. Практическая реализация метода вертикального армирования неоднородного основания для компенсации неравномерной деформируемости грунтового массива и снижения сейсмических воздействий на надземное сооружение / Мариничев М. Б., Ткачев И. Г., Шлее Ю. // Научный журнал КубГАУ. – 2013. – № 94. – С. 279–292.

19. Мариничев М. Б. Обоснование рациональной конструкции фундамента здания с высоким центром тяжести для строительства в сейсмическом районе / Мариничев М. Б., Макушева А. В. // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2015. – № 01 (105). – С. 367–380.

20. Мариничев М. Б. Оценка эффективности свайно-плитных фундаментов с промежуточной подушкой на примере высотных зданий в сейсмических районах Краснодарского края // Вестник ТГАСУ. – 2017. – № 02 (61). – С. 182–191.

21. Мариничев М. Б. Опыт реализации нестандартных методов проектирования и строительства фундаментов высотных зданий в сейсмических районах // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2017. – № 125. – С. 623–657.

22. Мариничев М. Б. Особенности учета инженерно-геологического строения оснований пойменных территорий в сейсмических районах при выборе

технических решений фундаментов высотных зданий // Вестник ПНИПУ. – 2018. – № 01 (9) – С. 103–113.

23. Ляшенко П. А. Сопротивление основания буронабивной сваячей сваи внешней нагрузке / Ляшенко П. А., Денисенко В. В., Мариничев М. Б. // Строительство и реконструкция. – 2020. – № 5(91). – С. 22–31.

24. Ляшенко П. А. Описание работы буронабивных свай в группе с использованием расширенной схемы сопротивления грунтового основания / Ляшенко П. А., Денисенко В. В., Мариничев М. Б. // Строительство и реконструкция – 2021. – № 2(94). – С. 46–55.

25. Мариничев М. Б. Обоснование применения анкерных микросвай как сжимаемых элементов в составе фундаментов при реконструкции и новом строительстве / Мариничев М. Б., Ляшенко П. А., Денисенко В. В. и др. // Строительство и архитектура. – 2022. – № 1. – С. 25–36.

Монографии

26. Мариничев М. Б. Исследование работы буровых сваячей свай в составе фундаментов многоэтажных и высотных зданий: Монография / М. Б. Мариничев. – Краснодар : КубГАУ : Просвещение – Юг, 2022. – 155 с. ISBN 978-5-93491-917-8.

27. Мариничев М. Б. Инженерная защита территорий от опасных природных процессов: Монография / М. Б. Мариничев. – Краснодар : Просвещение - Юг, 2022. – 134 с. ISBN 978-5-93491-920-8.

Патенты РФ на изобретения

28. Патент РФ на изобретение № 2242563. Способ подготовки основания резервуара / Шадунц К. Ш., Мариничев М. Б., Угринов В. В. // Бюл. изобр., 2004. – № 35.

29. Патент РФ на изобретение № 2256748. Свайный фундамент и способ возведения свайного фундамента / Шадунц К.Ш., Мариничев М.Б. // Бюл. изобр., 2005. – № 20.

30. Патент РФ на изобретение № 2300604. Способ строительства свайно-плитных фундаментов в сейсмических районах / Шадунц К. Ш., Мариничев М. Б., Демченко В. А. // Бюл. изобр., 2007. – № 16.

31. Патент РФ на изобретение №2303106. Плитный фундамент повышенной жесткости / Шадунц К.Ш., Мариничев М.Б., Демченко В.А. // Бюл. изобр., 2007. – № 20.

32. Патент РФ на изобретение №2320820. Фундамент / Шадунц К. Ш., Мариничев М. Б., Демченко В. А. // Бюл. изобр., 2008. – № 9.

33. Патент РФ на изобретение № 2321703. Способ строительства свайно-плитного фундамента / Шадунц К. Ш., Мариничев М. Б. // Бюл. изобр., 2008. – № 10.

34. Патент РФ на изобретение №2331738. Свайно-плитный фундамент / Шадунц К. Ш., Мариничев М. Б. // Бюл. изобр., 2008. – № 23.

35. Патент РФ на изобретение №2378454. Способ возведения свайно-плитного фундамента / Шадунц К. Ш., Мариничев М. Б. // Бюл. изобр., 2010. – № 1.

36. Патент РФ на изобретение № 2379425. Способ возведения свайно-плитного фундамента / Шадунц К. Ш., Мариничев М. Б. // Бюл. изобр., 2010. – № 2.

37. Патент РФ на изобретение №2513050. Способ возведения свайно-плитного фундамента в сейсмических районах / Мариничев М. Б., Маршалка А. Ю. // Бюл. изобр., 2014. – № 11.

38. Патент РФ на изобретение № 2520314. Способ возведения сваи. / Мариничев М. Б., Маршалка А. Ю. // Бюл. изобр., 2014. – № 17.

39. Патент РФ на изобретение № 2558559. Вертикальный цилиндрический резервуар для хранения жидкостей и газов / Шадунц К. Ш., Мариничев М. Б., Угринов В. В., Ткачев И. Г. // Бюл. изобр., 2015. – № 22.

40. Патент РФ на изобретение №2625834. Конструкция противолавинной и противокампнадной защиты / Мариничев М. Б., Макушева А. В. // Бюл. изобр., 2017. – № 20.

41. Патент РФ на изобретение №2731969. Плитный фундамент на неравномерно сжимаемом основании с возможностью регулирования кренов / Мариничев М. Б., Ткачев И. Г. // Бюл. изобр., 2020. – № 25.

42. Патент РФ на изобретение №2733339. Устройство для измерения сдвиговых деформаций грунта относительно поверхности бетонной конструкции / Ляшенко П. А., Денисенко В. В., Мариничев М. Б. // Бюл. изобр., 2020. – № 28.

43. Патент РФ на изобретение №2734750. Способ регулирования кренов свайно-плитного фундамента в сейсмических районах на неравномерно сжимаемых грунтах / Мариничев М. Б. // Бюл. изобр., 2020. – № 30.

44. Патент РФ на изобретение №2737303. Способ усиления буронабивной сваи / Мариничев М. Б., Ткачев И. Г. // Бюл. изобр., 2020. – № 33.

45. Патент РФ на изобретение №2745499. Способ испытания грунтового основания свай / Ляшенко П. А., Денисенко В. В., Мариничев М. Б. // Бюл. изобр., 2021. – № 9.

46. Патент РФ на изобретение №2750919. Способ испытания грунтового основания свай / Ляшенко П. А., Денисенко В. В., Мариничев М. Б. // Бюл. изобр., 2021. – № 19.

47. Патент РФ на изобретение № 2760557. Устройство для измерения сдвиговых деформаций грунта относительно железобетонной конструкции / Ляшенко П. А., Денисенко В. В., Мариничев М. Б. // Бюл. изобр., 2021. – № 34.

48. Патент РФ на изобретение №2770294. Способ испытания грунтового основания буронабивной висячей свай / Ляшенко П. А., Денисенко В. В., Мариничев М. Б. // Бюл. изобр., 2022. – № 11.

49. Патент РФ на изобретение № 2761795. Способ возведения буронабивной сваи повышенной несущей способности для строительства в сейсмических

районах / Мариничев М. Б., Ляшенко П. А., Денисенко В. В., Ткачев И. Г., Азов И. Г. // Бюл. изобр., 2022. – № 3.

Свидетельства о регистрации программ

50. Мариничев М. Б. Расчет амплитуд ускорений: поступательного, углового вращательного движения грунта, при сейсмическом воздействии / Мариничев М. Б., Маршалка А. Ю. // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2010610334 от 11 января 2010 г.

51. Маршалка А. Ю. CPRF-CFA / Маршалка А. Ю., Мариничев М. Б. // Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2013617142 от 02 августа 2013 г.

В других печатных и переводных изданиях

В других печатных, в том числе переводных изданиях опубликовано 39 научных работ

Компьютерная верстка *М. В. Смирновой*

Подписано к печати 03.07.2023. Формат 60×84 ¹/₁₆. Бумага офсетная.

Усл. печ. л. 2,6. Тираж 150 экз. Заказ 104.

Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет.
190005, Санкт-Петербург, 2-я Красноармейская, д. 4.

Отпечатано на МФУ. 198095, Санкт-Петербург, ул. Розенштейна, д. 32, лит. А.