

На правах рукописи



Купчикова Наталья Викторовна

**СВАЙНЫЕ ФУНДАМЕНТЫ
С УШИРЕНИЯМИ И МЕТОДОЛОГИЯ ИХ РАСЧЁТА**

2.1.2 «Основания и фундаменты, подземные сооружения»

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой
степени доктора технических наук

Москва – 2025

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет транспорта» РУТ (МИИТ)

Научный консультант: доктор технических наук, доцент,
КУРБАЦКИЙ Евгений Николаевич

Официальные оппоненты:

ТРАВУШ Владимир Ильич,
доктор технических наук, профессор, академик РААСН,
заместитель генерального директора ЗАО «Горпроект»;

МАНГУШЕВ Рашид Абдуллович,
доктор технических наук, профессор, член-корреспондент РААСН, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования, «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет», профессор кафедры «Геотехника»;

ШУЛЯТЬЕВ Олег Александрович,
доктор технических наук,
заместитель директора по научной работе НИИОСП им. Герсевича АО «НИЦ» Строительство.

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Санкт-Петербургский горный университет императрицы Екатерины II»

Защита состоится «22» октября 2025 г., в 15:00 на заседании диссертационного совета 40.2.002.01 на базе федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский университет транспорта» по адресу: 127994, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9, (ул. Часовая, д.22/2, стр. 1, ауд. 329).

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте РУТ (МИИТ), www.mii.ru.

Автореферат разослан «__» _____ 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета

Артюшенко Игорь Александрович

Общая характеристика работы

Актуальность темы исследования. Современная тенденция строительства зданий и сооружений различного функционального назначения (МФК, офисных, выставочных комплексов, высотных зданий, мостов, опускных тоннелей и т.д.) приводит к повышению нагрузки, передаваемой на фундамент. При этом строительство таких объектов все больше осуществляется на территориях со слабыми грунтовыми условиями и на территориях с высокой сейсмической активностью. Одним из направлений повышения эффективности строительства в таких неблагоприятных грунтовых условиях является устройство свайных, свайно-плитных и коробчатых конструкций фундаментов с использованием свай с поверхностными и (или) концевыми уширениями.

Основным преимуществом фундамента из свай с уширениями является повышенная площадь взаимодействия с грунтом, что снижает удельное давление на него и обеспечивает эффективность, особенно при строительстве на слабых и структурно-неустойчивых грунтах (макропористые суглинки, глины и намывные грунты).

Отсутствие научно-обоснованной методологии проектирования фундаментов из свай с уширениями при работе на статические и динамические воздействия сдерживает их широкое внедрение в практику строительства. Поэтому, развитие теории фундаментостроения применительно к конструкциям и технологии устройства фундаментов из свай с концевыми и (или) поверхностными уширениями на слабых, структурно-неустойчивых грунтах, а также построение методологии проектирования таких фундаментов является *актуальной проблемой*.

Степень разработанности темы исследований. Основы расчета и конструирования фундаментов заложены в работах: Ю. М. Абелева, М. Ю. Абелева, А. А. Бартоломея, В. В. Бахолдина, В. Г. Березанцева, А. А. Григорян, Н. М. Герсегованова, В. Н. Голубкова, М. Н. Гольдштейна, Б. И. Далматов, Н. Л. Зоценко, В. А. Журнаджи, П. А. Коновалова, Э. В. Костерина, Е. Н. Курбацкого, А. А. Луга, А. И. Моргуна, И. М. Омелчака, Н. М. Платонова, В. А. Ржаницина, А. И. Сапожникова, Л. Р. Ставнищера, М. И. Смородинова, С. Б. Ухова, В. И. Хащина, В. Г. Фёдоровского, Н. А. Цытовича, Б. С. Юшкова и др.

Современная теория расчёта и конструирования свайных фундаментов базируется на работах А. Л. Готмана, Н. З. Готман, В. В. Знаменского, В. А. Ильичёва, Р. А. Мангушева, Н. С. Никифоровой, З. Г. Тер-Мартirosяна, А. З. Тер-Мартirosяна, В. И. Травуша, О. А. Шулятьева. Однако, исследования фундаментов из свай с уширениями сравнительно немногочисленны. В отечественной и зарубежной практике строительства применялись сваи с уширениями готового, набивного и комбинированного типа. Параметры таких конструкций и свайного поля принимались без должного научного обоснования, по методологии обычных свай, не учитывая особенности

проектирования, взаимосвязи конструкции и технологии устройства свай с уширениями, реальные грунтовые условия и воздействия.

В СП 24.13330.2021 «Свайные фундаменты» в п. 6.5 указано, что «буронабивные сваи сплошного сечения бывают с уширениями и без них». Сваи с уширением ограничиваются лишь конструктивными решениями, в виде свай с концевым уширением и пирамидальные сваи с наклонными боковыми гранями, расширяющимися к верху. В национальных стандартах СТО НОСТРОЙ и зарубежных ЕВРОКОДАХ фундаменты с уширениями вообще не представлены.

Совершенно не рассмотрен вопрос влияния технологии устройства свай с уширениями на изменение свойств грунтового основания и учета этого изменения при расчете.

Таким образом, исследования работы одиночных и группы свай с уширениями, с целью определения эффективной формы и технологии устройства фундаментов из свай с уширениями, разработка методик оценки несущей способности и осадки под воздействием статических и динамических нагрузок, представляет собой важную проблему современной науки, особенно при возведении сооружений на рыхлых суглинках и глинах.

Объектом исследования являются свайные фундаменты с поверхностными и (или) концевыми уширениями.

Предметом исследования является влияние конструкторско-технологических решений свай с уширениями на несущую способность и их осадку при статических и динамических воздействиях в структурно-неустойчивых грунтах (просадочные суглинки, глины, намывные грунты).

Цель исследования – разработка научно-обоснованной методологии проектирования эффективных конструкций и технологии устройства фундаментов из свай с концевыми и (или) поверхностными уширениями на слабых, структурно-неустойчивых грунтах при статических и динамических воздействиях.

Задачи исследования:

1. Провести анализ результатов теоретических и экспериментальных исследований конструкций фундаментов из свай с уширениями опубликованных в научной литературе и нормативной документации.

2. Провести лабораторные, натурные и численные исследования работы свай с концевыми и (или) поверхностными уширениями для выявления особенностей взаимодействия их с окологрунтовым основанием.

3. Построить расчётные схемы взаимодействия свай с концевыми и (или) поверхностными уширениями с окологрунтовым основанием при статических и динамических воздействиях.

4. Разработать методики расчета свайных фундаментов с концевыми и поверхностными уширениями в условиях статических и динамических (в том числе сейсмических) воздействий.

5. Выявить особенности работы фундамента из группы свай с уширениями на статические и динамические воздействия.

6. Разработать определяющие принципы конструирования и технологий устройства свай с уширениями.

7. Разработать научно-обоснованную методологию проектирования эффективных конструкций и технологии устройства фундаментов из свай с концевыми и (или) поверхностными уширениями на слабых структурно-неустойчивых грунтах при статических и динамических воздействиях.

Научная новизна заключается в построении научных основ теории конструирования и расчёта фундаментов из свай с концевыми и поверхностными уширениями, а именно:

- разработаны принципы конструирования и создания высокоэффективных технологий устройства фундаментов из свай с поверхностными и концевыми уширениями;

- развитие инженерных методов преобразования (уплотнением и закреплением) грунтов оснований для повышения несущей способности оснований зданий и сооружений и снижения их деформаций;

- выявлены особенности взаимодействия свай с концевыми и поверхностными уширениями с околосвайным основанием;

- построены физическая и расчетная модели силового сопротивления системы «грунт-свайный фундамент с уширениями» для проектирования при статических и динамических воздействиях;

- разработаны инженерные методы расчёта деформаций фундаментов из свай с поверхностными и концевыми уширениями на вертикальные и горизонтальные статические воздействия;

- уточнены методы оценки напряжённо-деформированного состояния свайных фундаментов с концевыми уширениями в упругопластической стадии при представлении условий контакта при статическом воздействии;

- разработаны методики расчёта свай с уширениями на статические и динамические, в том числе сейсмические воздействия, основанные на свойствах изображений Фурье финитных функций с кусочно-постоянными и переменными параметрами сложносочленённых конструкций;

- даны рекомендации по подбору расчётных схем концевых уширений в зависимости от конструктивного решения свай, технологии её погружения и устройства уширения, а также грунтовых условий.

Теоретическая и практическая значимость работы:

- основные принципы конструирования свай с концевыми и поверхностными уширениями, позволяющими снизить расход материала, трудоёмкость, отказаться от использования тяжёлой техники, вызывающей сотрясаемость земной поверхности, повысить несущую способность и снизить осадку фундамента;

- экспериментально-теоретическое обоснование механизма взаимодействия фундаментов из свай с поверхностными и концевыми уширениями с грунтовым основанием;

- методики расчёта осадки свай с концевыми и поверхностными уширениями, определения характеристик основания при вертикальном и горизонтальном статическом воздействии;

- методики расчёта свай с уширениями на статические и динамические, в том числе сейсмические воздействия, основанные на свойствах изображений Фурье финитных функций с кусочно-постоянными и переменными параметрами сложносочленённых конструкций.

Методология и методы исследований. Поиск наиболее точного решения сложных геотехнических задач для свайных фундаментов с концевыми и (или) поверхностными уширениями на слабых, структурно-неустойчивых грунтах при статических и динамических воздействиях сталкивается с рядом затруднений из-за разнообразия форм основного тела свай, форм уширений, условий нагружения и прочего, что может быть преодолено методами математического моделирования теории упругости и пластичности.

В работе над решением поставленных задач были использованы подходы, основанные на теории упругих деформаций, пластичности и ползучести материалов, были применены методы анализа консолидации и ползучести гетерогенных грунтов, в частности, концепция эффективного напряжения, разработанная К. Терцаги, предположения Винклера и Жемочкина, а также критерии прочности, сформулированные Кулоном-Мором и Мизесом-Боткиным.

Положения научно-обоснованной методологии проектирования конструкций и технологии устройства фундаментов из свай с концевыми и (или) поверхностными уширениями на слабых, структурно-неустойчивых грунтах при статических и динамических нагрузках, выводы и рекомендации основаны на использовании проверенных конечно-элементных моделей и верифицированных расчётных комплексов; на последовательном логическом анализе результатов экспериментальных и аналитических исследований; сравнении их с результатами, апробированных методик А. А. Григорян, Н. З. Готман, А. Л. Готмана, Е. Н. Курбацкого, А. И. Сапожникова и других; а также на сходимости результатов аналитических решений с данными лабораторных и натурных экспериментов.

Положения, выносимые на защиту:

- новые конструктивно-технологические решения и принципы конструирования и создания высокоэффективных технологий устройства фундаментов из свай с поверхностными и (или) концевыми уширениями;

- решение задачи развития инженерных методов преобразования (уплотнением и укреплением) грунтов оснований для повышения несущей способности оснований зданий и сооружений и снижения их деформаций;

- выявлены особенности взаимодействия свай с концевыми и поверхностными уширениями с околосвайным основанием;

- физическая и расчетная модели силового сопротивления системы «грунт-свайный фундамент с уширениями» для проектирования при статических и динамических воздействиях;

- инженерные методы расчёта деформаций фундаментов из свай с поверхностными и (или) концевыми уширениями на вертикальные и горизонтальные статические воздействия;

- постановка и решение задачи оценки напряжённо-деформированного состояния свайных фундаментов с концевыми уширениями в упругопластической стадии при представлении условий контакта при статическом воздействии;

- методика расчёта свай с уширениями на статические и динамические, в том числе сейсмические воздействия, основанные на свойствах изображений Фурье финитных функций с кусочно-постоянными и переменными параметрами сложносочленённых конструкций;

- рекомендации по подбору расчётных схем концевых уширений в зависимости от конструктивного решения сваи, технологии её погружения и устройства уширения, а также грунтовых условий.

Степень достоверности результатов исследования, основывается на:

- использовании обоснованных фундаментальных положений теории фундаментостроения и теории формообразования строительных конструкций;

- выверенных конечно-элементных моделей и верифицированных расчётных программных комплексов;

- на последовательном логическом сравнительном анализе полученных результатов экспериментальных и аналитических исследований с результатами, апробированных методик Е. Н. Курбацкого, Н. З. Готман, А. Л. Готмана, А. И. Сапожникова и др., использованием гипотез Винклера и Жемочкина;

- удовлетворительной сходимостью результатов аналитических решений с данными лабораторных и натурных экспериментальных исследований.

Апробация работы. Результаты исследований подробно были доложены и получили положительную оценку на международных конференциях по геотехнике, сейсмологии и сейсмостойкому строительству: «Фундаменты глубокого заложения и проблемы геотехники территорий» (г. Пермь, 2024г.), «Современные методы проектирования, подземного строительства и реконструкции оснований и фундаментов» GFAC 2024 (г. Санкт-Петербург, 2024г.), «Пространственные модели и методы расчета сейсмостойкости сооружений» (г. Москва, 2024г.), «XV Международный симпозиум по реологии грунтов» (г. Казань, 2025г.), Евразийский форум «SEISMO-2025» (г. Москва, 2025). В период с 2015 по 2025 гг. результаты докладывались на более чем 40 международных и национальных научных конференциях в РФ (г. Астрахань, г. Владивосток, г. Нижний Новгород, г. Пермь, г. Ростов-на-Дону, г. Санкт-

Петербург и др.), а также в Белоруссии, Казахстане, Узбекистане, Вьетнаме и Китае.

Российская академия архитектуры и строительных наук (РААСН) в 2024 году наградила серебряной медалью в конкурсе на лучшие научные и творческие работы в области строительных наук за научное издание, включающее новые запатентованные строительные конструкции фундаментов из свай с уширениями и технологии их возведения. В 2015 году в конкурсе для молодых ученых и специалистов до 35 лет работа получила диплом победителя, а в 2014 году – диплом победителя конкурса за научную работу «Разработка и внедрение новых конструкций свайных фундаментов с уширениями и способов закрепления оснований для строительства и реконструкции на слабых грунтах».

В 2014г. и 2010г. лауреат премии Губернатора Астраханской области за вклад в развитие науки, разработку и активное внедрение новых конструкций свайных фундаментов, способов закрепления оснований для строительства и реконструкции на слабых грунтах на территории Астраханского региона.

Разработка конструкций фундаментов из свай с уширениями для строительства высотных зданий и опор мостов на «Петербургской технической ярмарке» (г. Санкт-Петербург, 2013) как лучшая научно-техническая разработка удостоена золотой медали.

Внедрение результатов работы осуществлено непосредственно при проектировании, строительстве и эксплуатации зданий, проведении строительно-технических экспертиз, а именно внедрены:

- на этапе берегоукрепления реки Волги города Астрахани в створе ул. Розы Люксембург при устройстве уширенной пяты путём нагнетания бетонной смеси в забой лидирующей скважины вдавливаемых свай - оболочек;

- на стадии вариантного проектирования с помощью программного комплекса MIDAS GTS NX групп фундаментов из буронабивных свай с концевыми уширениями под пилоны высотных зданий жилого комплекса, расположенных в г. Москве;

- при проведении строительно-технических экспертиз фундаментов глубокого заложения эксплуатируемых зданий и сооружений, расположенных в Астраханской, Волгоградских и Московских областях;

- при расчёте усиления свайных фундаментов с расширенной верхней частью в виде ступеней малоэтажных жилых домов, расположенных вдоль береговой линии в зоне реки Ока города Пушкино Чеховского района Московской области;

- при вариантном проектировании фундаментов глубокого заложения многоэтажного жилого здания, расположенного на структурно-неустойчивых основаниях береговой зоны в селе Гамиях Республики Дагестан.

Результаты диссертационной работы внедрены в учебный процесс Российского университета транспорта и Астраханского государственного архитектурно-строительного университета.

Содержание работы

Во введении обоснована актуальность научно-исследовательской проблемы, сформулированы её цели и задачи, предложена научно-техническая гипотеза возможного направления решения поставленной научной проблемы, отмечены научная новизна и основные положения, выносимые на защиту, указывается теоретическая и практическая значимость полученных результатов.

В первом разделе проведён анализ методов конструирования, расчёта и повышения несущей способности свайных фундаментов путём устройства уширений и совместной пространственной работы системы «основание-фундамент-здание» на статические и динамические нагрузки.

Анализ научных публикаций в отечественной и зарубежной литературе по фундаментостроению показал, что не изучены работы как одиночных, так и групп свай с уширениями различного расположения на стволе (вверху, под нижним концом сваи, по высоте ствола). Не были отработаны маловязкие составы с добавками для цементации и инъектирования при устройстве уширений, что не позволяло получать проектную форму уширения, оптимальную для взаимодействия с грунтом. Практически отсутствуют исследования напряженно-деформированного состояния системы «основание-свайный фундамент с уширениями» при динамических воздействиях, сейсмическом разжижении грунтов и изломах длинных свай. Методика расчета несущей способности и осадки приведена лишь для одиночной буронабивной сваи с уширением сферической формы.

В текущих строительных стандартах нет чёткого разделения свай с уширениями в зависимости от их положения по отношению к оси на теле сваи, конфигурации формы уширения и способа изготовления. Расчет несущей способности, описанный в формуле Е.19 СП 24.13330.2021 «Свайные фундаменты», применим лишь к отдельно стоящим буронабивным сваям с уширением в виде сферы. Однако, на практике, при использовании разных технологий и материалов, сваи с уширениями могут иметь иные геометрические формы.

Применение уширений в свайных фундаментах - на поверхности, внизу сваи и по её длине - нередко приводило к неоправданному увеличению расчетной несущей способности и перерасходу стройматериалов и, как результат, росту затрат на возведение.

В практике строительства находят применение различные технологии и материалы устройства свайных фундаментов, что позволяет разнообразить конструктивные решения и условия взаимодействия с грунтом. Отсюда, одной из ключевых задач при проектировании свайных фундаментов с концевыми и (или) поверхностными уширениями является учет технологии устройства конструкции и способа её влияния на свойства грунтового основания. Это, наряду с другими факторами, оказывает влияние на материалоемкость и

безопасность проектных решений фундамента. Анализ состояния вопроса позволил сформулировать цель и задачи исследования.

Во втором разделе сформулирован системный подход к формообразованию свай с уширениями, составлена расширенная классификация конструкций из свай с уширениями, разработаны новые конструктивно-технологические решения фундаментов с уширениями.

На основе положений теории формообразования строительных конструкций, представленных в работах Абовского Н. П., Палагушкина В. И., Фридкина В. М., Павлова А. Б., анализа результатов существующих и собственных раскопок натурных конструкций свай с уширениями, разработан системный подход к формообразованию фундаментов из свай с уширениями, основой которого являются пять принципов формообразования свайных фундаментов с уширениями (рис. 1).

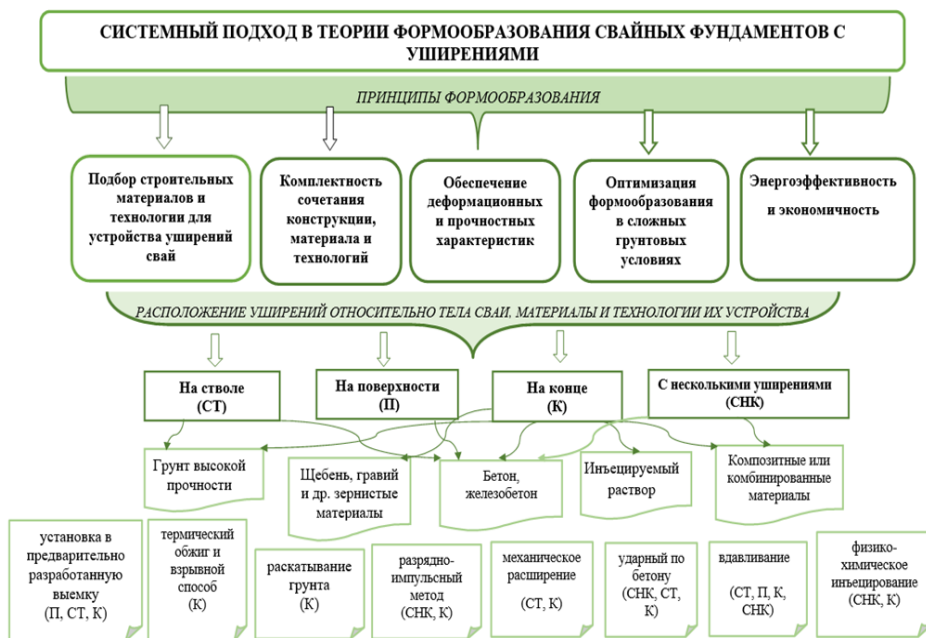


Рисунок 1 - Системный подход к формообразованию конструкций свайных фундаментов с уширениями для структурно-неустойчивых грунтов: К – концевое уширение, СТ – на стволе, П – поверхностное уширение, СНУ – с несколькими уширениями

Составлена классификация конструкций свай с уширениями, отражающая их конструктивно-технологические решения и материалы для конкретных условий грунтового основания с разделением на конструкции готового, набивного или комбинированного типа (рис. 2).

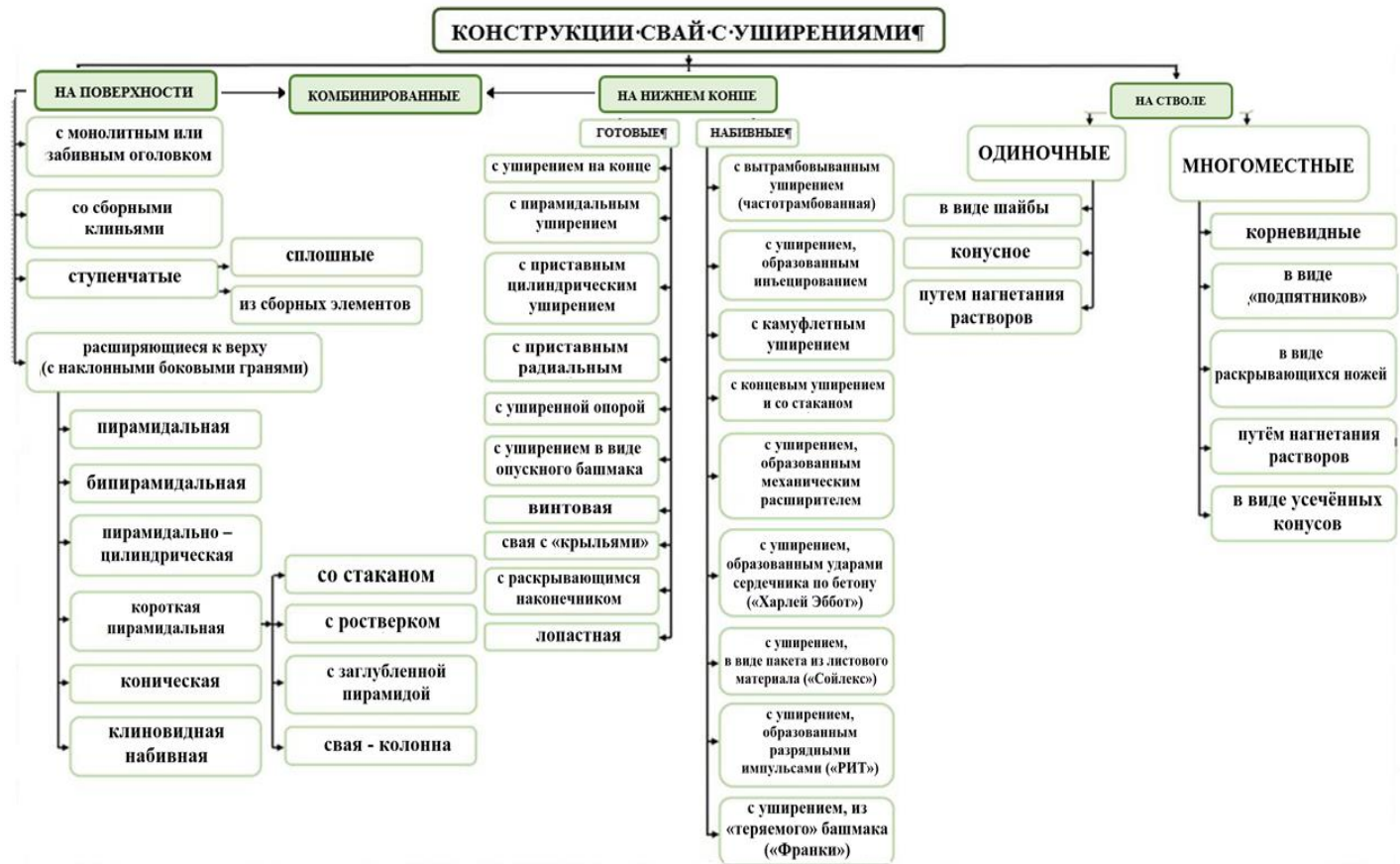


Рисунок 2 - Предлагаемая классификация конструкций свай с уширениями, отражающая их конструктивно-технологические решения

Принятые принципы формообразования и анализ результатов раскопок позволили сгенерировать и запатентовать новые конструктивно-технологические решения свай с уширениями, которые нашли своё отражение в исследованиях, а также в разработанной классификации конструкций свай с уширениями.

В третьем разделе изложены результаты лабораторных и натурных испытаний работы одиночных и групповых свай с поверхностными и (или) концевыми уширениями в сравнительном анализе с конструкциями без уширений при статических и динамических воздействиях (рис. 3). В экспериментах апробированы технологии устройства уширений: вдавливание, раскатывание грунта, физико-химическое инъецирование, термический обжиг, механическое глубинное втрамбовывание. Разработаны составы нагнетающих маловязких твердеющих растворов с гидрофобными добавками для различных видов грунтов, обеспечивающие гарантированную форму и диаметр уширения при оптимальном подборе водоцементного отношения, расхода материалов на 1 м³ грунта, радиуса укрепленного грунта и эффективного давления подачи раствора при цементации, битумизации и силикатизации.

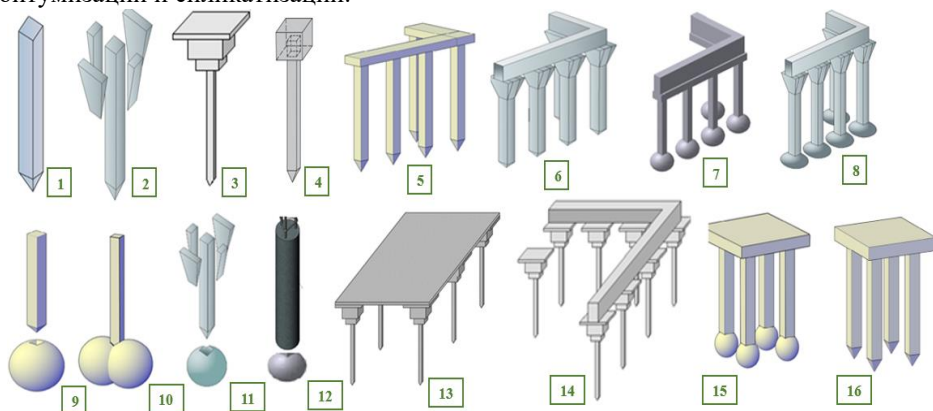


Рисунок 3 - Виды опытных одиночных и групп свай с уширениями: 1 – призматическая; 2 - в виде сборных клиньев; 3 – в виде ступеней; 4 - в виде оголовка; 5 - ростверк с призматическими сваями; 6 - ростверк из свай с уширениями в виде клиньев; 7 - ростверк из свай с концевыми уширениями путём инъецирования; 8 - ростверк из свай с поверхностными и концевыми уширениями; 9 - призматическая с уширением путём инъецирования; 10 - с двумя концевыми уширениями путём инъецирования; 11 - в виде клиньев и концевым; 12 - буронабивная с уширением из втрамбованного щебня; 13 - куст из свай с уширениями в виде ступеней; 14 - ростверк из свай с уширениями в виде ступеней; 15 - куст из свай с концевыми уширениями; 16 – куст из призматических свай

Физико-механические характеристики грунтовых оснований в лабораторных условиях определялись с помощью пенетromетра грунтового, на натурных площадках - в результате инженерных изысканий и групп свай с концевыми и (или) поверхностными уширениями.

Разработана и запатентована технология образования концевой уширения сваи за счёт глубинного обжига в результате воспламенения железоалюминиевого термита в наконечнике сваи для глинистых грунтов, позволяющая получить сферическую форму концевой уширения. Выявлено - за счёт спекания глины удельное сцепление грунта с концевым уширением сваи увеличивается до 30% (рис. 4).

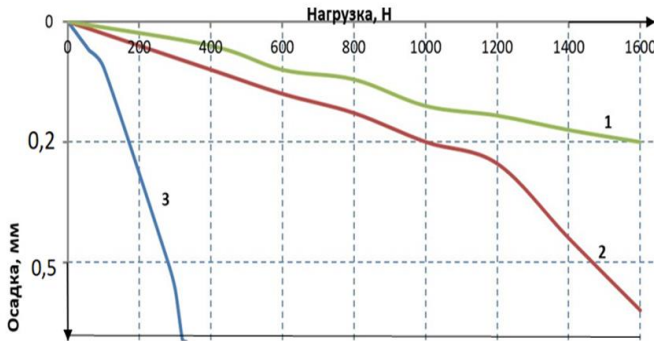


Рисунок 4 - График зависимости осадки от вертикальной нагрузки одиночной сваи: 1 – с уширением, образованным в результате глубинного обжига; 2 – с уширением, путём цементации; 3 – и без уширения

Доказана эффективность устройства концевых уширений за счёт втрамбовывания щебня различной фракции и выявлена зависимость величины осадки штампа от площади щебня при загрузении (рис. 5).

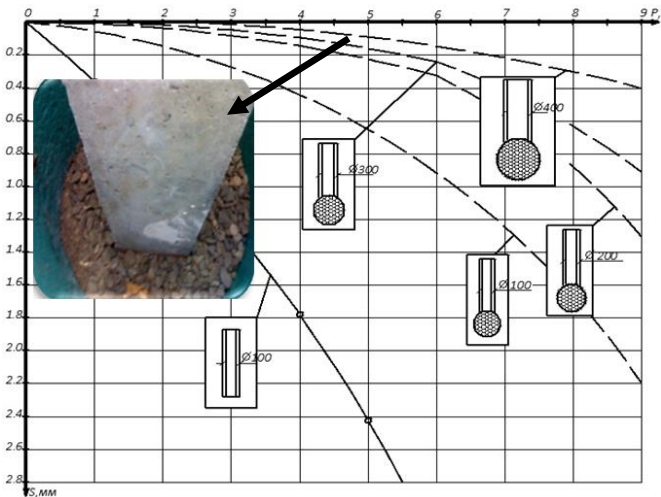


Рисунок 5 - График зависимости осадки буронабивных микросвай от вертикального нагружения с различными диаметрами ствола и уширения

Установлено значительное снижение осадки - в 8 - 10 раз при уплотнении грунта щебнем, с увеличением его площади в 2 раза по сравнению с испытаниями без уширения из щебня. Осадка снижается до 6 раз по сравнению со свайей без уширения. Установлена зависимость несущей способности, осадки буронабивных

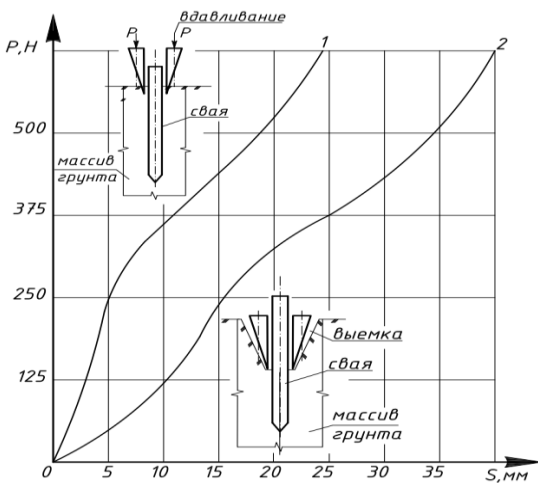
микросвай с уширенной пятой от диаметра свай, различной фракции щебня и объёма его, а также от диаметра и коэффициента уплотнения грунтового полупространства.

Разработана технология устройства поверхностных уширений свай, эффективная для макропористых просадочных грунтов за счёт погружения сборных клиньев под давлением. Погружение сборных клиньев забивкой по сравнению с предварительно разработанной выемкой увеличивает несущую способность свай с поверхностным уширением в 1,5 раза (рис. 6).



Рисунок 6 - График зависимости осадки от вертикального нагружения свай с уширениями в виде сборных клиньев (слева), погружение свай и клиньев (в центре) и статические испытания (справа)

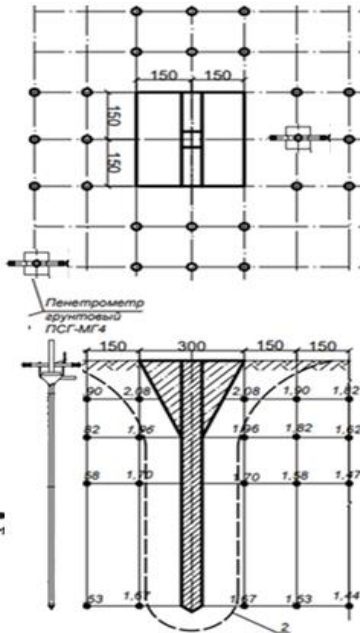
Получен оптимальный угол наклона грани уширения $\alpha = 11^\circ - 15^\circ$, при котором наблюдается максимальное значение несущей способности в грунтовых условиях I типа просадочности за счёт большого объёма уплотненного грунта.



Графики осадки клина от нагрузки показывают, что вдавливание клиньев снижает осадку модели в 3 - 5 раз по сравнению со вторым способом - установкой клина в предварительно пробуренную скважину (см. рис. 7).

Рисунок 7 - График осадки клина от величины нагрузки (справа): 1 - при вдавливании; 2 - при погружении в готовую выемку

Рисунок 8 - Характерные точки замера характеристик грунта вокруг свай с уширениями из клиньев



Для забивных свай с поверхностными уширениями с использованием метода статической пенетрации (рис. 8) установлено, что изменение плотности грунта происходит в уровне сборных клиньев и ступеней на расстоянии $l_i = 2,5d_{\text{уш}}$ с максимальным коэффициентом уплотнения $k_y = 1,45$; для свай с наклонными боковыми гранями - до $l_i = 2d_{\text{уш}}$ и $k_y = 1,34$.

На графике (рис. 9) видно: наиболее эффективной является свая цельного сечения с уширением вверху в виде ступеней, её несущая способность на 15 - 20% больше пирамидальной и бипирамидальной, по сравнению с призматической свай - на 20-25%.

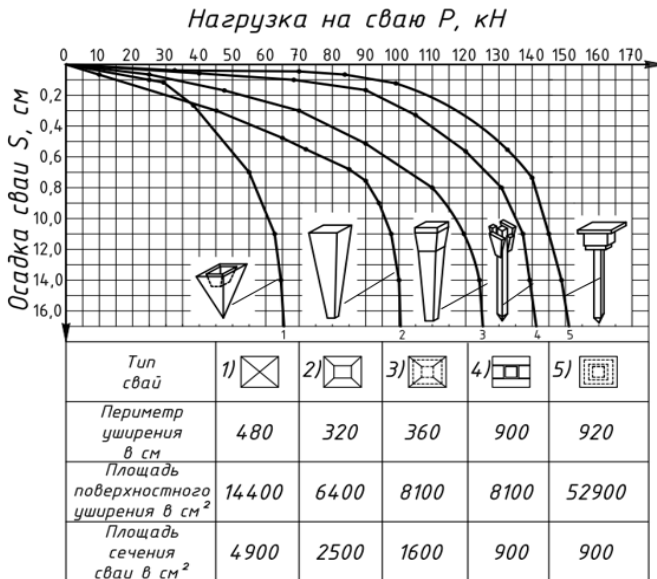


Рисунок 9 - График зависимости осадки от вертикального нагружения для пяти видов свай: пирамидальной, ступенчатой, короткой пирамидальной, бипирамидальной и с клиньями

Установлено, что в водонасыщенных песках осадка свай с поверхностными уширениями в виде ступеней на 30 - 60% меньше при различных этапах нагружения, чем во влажном суглинке, осадка в 8 раз меньше, чем обычных призматических и в 3 - 4 раза меньше, чем с поверхностными уширениями в виде сборных клиньев (рис.10). Испытания группы свай проводились для конструкций с поверхностными уширениями в виде сборных клиньев и ступеней с варьированием количества и расстояния между сваями от 3 до 6 диаметров.

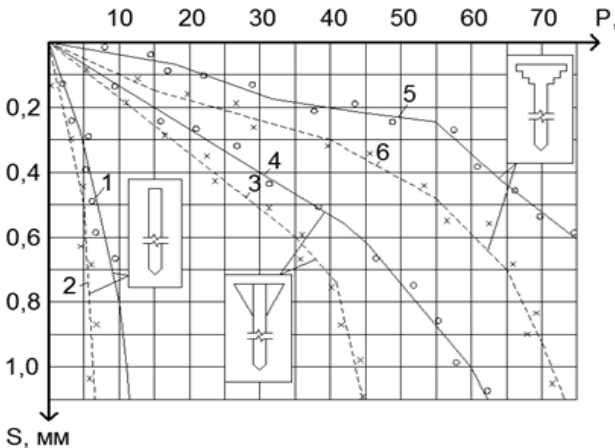


Рисунок 10 - График зависимости осадки свай с уширениями и без от вертикального нагружения в песке (2,3,6) и суглинке (1,4,5)

Осадка групп свай с поверхностными уширениями из трёх штук в суглинке уменьшается в 1,5 - 1,8 раза по сравнению с погружением группы из трёх

призматических свай, для групп из шести свай - в 1,8 - 2,4 раза (рис. 11). У группы из четырёх свай с концевыми уширениями, расположенными в одном ряду, наблюдается снижение осадки в 2,2 - 3,7 раза по сравнению с призматическими конструкциями свай.

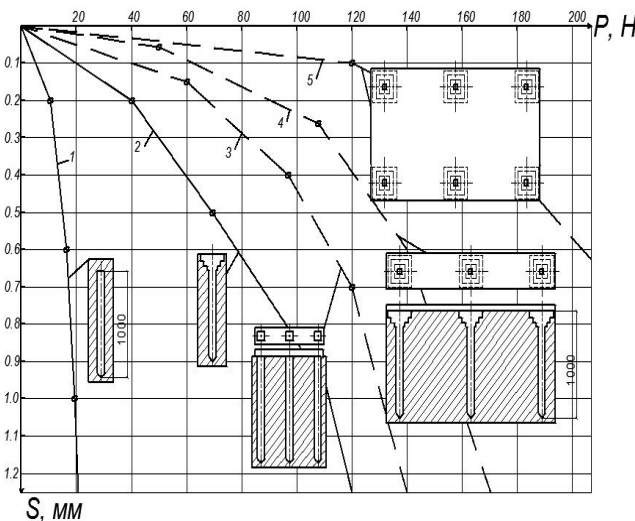


Рисунок 11 - Результаты испытания одиночных (1, 2) и групп (3-5) призматических и с поверхностными ступенчатыми уширениями из 3 и 6 штук: 1 - призматическая, 2 - свая с уширением, 3 - группа из 3-х свай, 4 - группа из 3-х свай с уширением, 5 - группа из 6 свай с уширениями

Осадка групп из четырёх свай с концевыми уширениями от 3 до 5 раз меньше, чем при вертикальном загрузении куста без уширений. При проведении натурных динамических испытаний с использованием малоканальной сейсмостанции для фундаментов из свай с поверхностным уширением в виде монолитного оголовка были подтверждены данные, что основными факторами, влияющими на величину виброускорения конструкций фундаментов свай с уширениями, являются: конструктивный тип здания; расстояние от здания до источника сейсмических волн; скорость распространения продольной волны в грунтовых слоях. Физические свойства определялись с помощью спектрально-временного анализа сейморазведки при исследовании сплошности грунтового массива. По скорости объёмных продольных и поперечных волн определяли модуль упругости, коэффициент Пуассона, константы Ляме и т. д.

В четвёртом разделе приведены расчётные схемы для свай с поверхностными и (или) концевыми уширениями с учетом технологии устройства, методики расчета на статические вертикальные и горизонтальные нагрузки, расчет усилий в теле конструкции.

На основании экспериментальных данных для построения расчётных моделей на статические и динамические воздействия были обоснованы и применены известные гипотезы:

- гипотеза Фусса - Винклера (или классическая гипотеза коэффициента постели);

- гипотезы упругопластической теории расчёта свай Шапиро Д. М.: и др.;
- специфические предпосылки:

- для свай с поверхностным забивным уширением расстояние зоны уплотнения грунта следует принимать: для ступенчатых уширений в виде полусферы $l_i = 2,5d_{\text{уш}}$ с максимальным коэффициентом уплотнения $k_y = 1,45$; для свай с клиньями в виде усеченного конуса - до $l_i = 2d_{\text{уш}}$ и $k_y = 1,34$;

- для свай с концевым уширением, получаемым вдавливанием, граница зоны уплотнения в виде сферы принимается $l_{\text{упл}} = r_{\text{уп.гр.}} - r_{\text{уш}}$ и сдвигаемый слой грунта вокруг уширения $1_{\text{сдв}} = r_{\text{сдв}} - r_{\text{уш}}$;

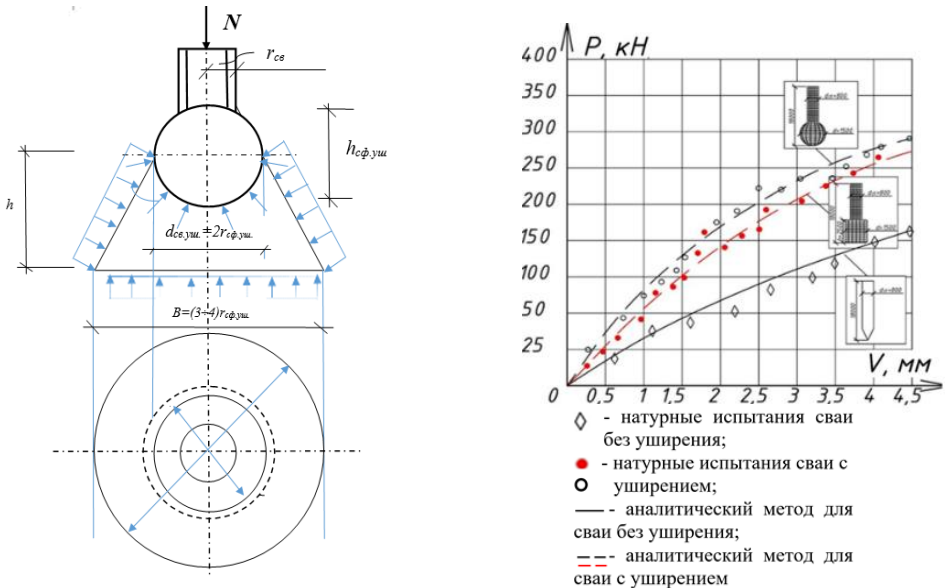
- при изготовлении уширения сваи в заранее подготовленные выемки максимальные напряжения принимаются по границе очертания уширения.

В работе построены расчётные схемы реактивных напряжений по площадкам предельного равновесия при вертикальном нагружении для свай с поверхностными, концевыми и совместными поверхностными и концевыми уширениями.

Расчет осадки свай с концевым уширением на вертикальную нагрузку (P) основан на решениях условия равновесия внешних и внутренних сил (рис. 12) с учётом компенсирующего коэффициента, учитывающего пластическую работу свай:

$$S = P / C_{\Sigma} (1 - aP / P_{np}) \quad (1)$$

где $C_{\Sigma} = C_{сж} + C_{сдв}$ — суммарная жёсткость грунта по отношению к свае, есть сумма жесткостей грунта на сжатие и сдвиг, в определении которых заложены коэффициенты, характеризующие форму уширения и зону уплотнения. Методика решения приведена в диссертации. Результаты расчетов по методике для буронабивных свай без уширения и с концевыми цилиндрическими уширениями, образованными бетонированием раскатанной полости в грунте, и сферическим, сформированным втрамбовыванием щебня представлены на рис. 12. Сходимость результатов составила до 8%.



По характеру деформирования опытных свай с уширениями в грунтовом массиве при горизонтальном воздействии по аналогии с обычными сваями рекомендуется подразделять на короткие и длинные, работающие по «жёсткой», «комбинированной» и «гибкой» схемам в одно- или многослойном основании.

Результаты численного исследования на MIDAS GTS NX показали, что неучет коэффициента уплотнения в зоне вокруг уширения приводит к значительному расхождению результатов. Поэтому, при построении конечно-элементной модели уширения рекомендуется учитывать изменение свойств грунта при уплотнении, построением дополнительной модели криволинейной поверхности, повторяющей геометрию уширения, например, эллипсоид вращения (рис. 13).

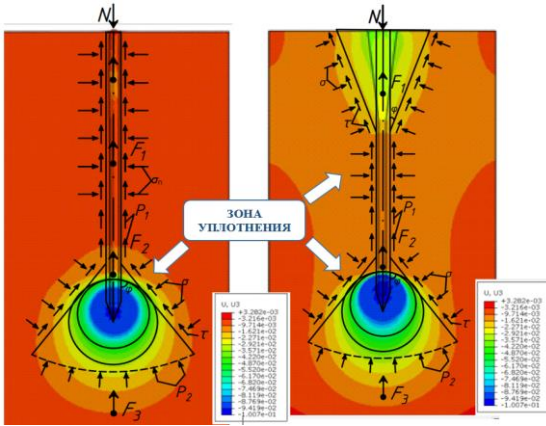


Рисунок 13 - Изополя деформаций с зонами уплотнений и с расчётными схемами свай с уширениями

При таком подходе к вводу исходных данных результаты расчета (изополя) показывают хорошую сходимость с результатами полевых испытаний для различных грунтов, расхождение составляет 2 - 10% (рис. 13).

Разработаны схемы деформирования одиночных свай с поверхностными и(или) концевыми уширениями при горизонтальном нагружении и метод расчета деформаций коротких и длинных свай с концевыми и (или) поверхностными уширениями в линейно-деформируемом основании с учетом сдвига на горизонтальную нагрузку. Сваи с уширениями моделируются как многопролетные стержни, опирающиеся на упругие опоры, в конечном числе точек (рис. 14). В общем виде система уравнений равновесия свай с указанной расчетной схемой, разделенной на i участков и состоящей из n связей, имеет вид: $C\{g\}=\{P\}$, где C - матрица коэффициентов жесткости, $\{g\}$ и $\{P\}$ - матрицы векторов смещений и воздействий.

Построение изогнутой оси свай с уширениями позволило установить, что линия «защемления свай» находится значительно ниже поверхности основания. Общий уровень отпорности основания остаётся высоким; при расчёте свай на горизонтальные нагрузки необходимо учитывать деформации сдвига поперечных сечений, так как изгибно-сдвиговые деформации превышают изгибные на 10 - 16% и более, а для свай с поверхностным и концевым уширениями, без учёта сдвига меньше на 20 - 40%, чем при вычислениях, где учтены сдвиговые деформации (см. рис. 14).



Рисунок 14 Расчётные схемы и результаты изогнутых осей коротких (слева) и длинных (справа) свай с уширениями от горизонтального воздействия: 1 - без учёта сдвига; 1' - с учётом сдвига; 2 - без учёта сдвига; 2' - с учётом сдвига

Разработана методика расчёта внутренних силовых факторов, углов поворота и смещения свай с уширениями на горизонтальную нагрузку в упругой среде с кусочно-постоянными параметрами, основанная на свойствах изображения Фурье финитных функций. Для сваи длиной L с кусочно-постоянными изгибной жёсткостью EI_1, EI_2, EI_3 , жёсткостью основания k_1, k_2, k_3 и длинами участков: l_1, l_2, l_3 . Верхняя часть сваи длиной l_1 находится выше дневной поверхности грунта, поэтому $k_1 = 0$. Дифференциальное уравнение участка сваи l_1 в обобщённых финитных функциях имеет вид:

$$EI_1 \frac{d^4 u_1}{dx^4} = EI_1 u_1(0) \delta'''(x) - EI_1 u_1(l_1) \delta'''(x - l_1) + EI_1 u_1'(0) \delta''(x) - EI_1 u_1'(l_1) \delta''(x - l_1) + M(0) \delta'(x + l_1) - M \delta'(x - l_1) + Q(0) \delta(x) - Q(l_1) \delta(x - l_1) \quad (2)$$

Аналогичное уравнение в обобщённых функциях можно записать для второго и третьего участка сваи и уширений. В правых частях уравнения находятся выражения, которые представляют обобщённые нагрузки, в которые входят и силовые и кинематические параметры. Выражения правых частей: $F_i(\nu)$, ($i=1,2,3$) где i - номер участка сваи. Применив преобразования Фурье к обеим частям каждого уравнения и выполнив необходимые алгебраические преобразования, получим:

$$1). \tilde{u}_1(\nu) = \frac{\tilde{F}_1(\nu)}{EI_1(\nu^4)}; \quad 2). \tilde{u}_2(\nu) = \frac{\tilde{F}_2(\nu)}{EI_2(\nu^4 + 4\beta_2^4)}; \quad 3). \tilde{u}_3(\nu) = \frac{\tilde{F}_3(\nu)}{EI_3(\nu^4 + 4\beta_3^4)} \quad (3)$$

В соответствии с теоремой Винера Пэли Шварца «Изображения Фурье финитных функций целые функции, т.е. функции представимые сходящимися степенными рядами» функции $\tilde{u}_i(\nu)$, ($i=1,2,3$) должны быть целыми, не принимать бесконечно больших значений, поэтому числители выражений должны делиться на знаменатели без остатка. Это значит, что корни числителей, (полиномы), должны содержать в себе корни знаменателя. Знаменатель первого уравнения системы (3) содержит кратный корень при $\nu=0$, кратности, равной 4. Поэтому условия делимости числителя $\tilde{F}_1(\nu)$ на ν^4 без остатка имеют вид:

$$F_1(0) = 0; \quad \frac{\partial F_1(0)}{\partial \nu} = 0; \quad \frac{\partial^2 F_1(0)}{\partial \nu^2} = 0; \quad \frac{\partial^3 F_1(0)}{\partial \nu^3} = 0. \quad (4)$$

Уравнения (4) представляют собой систему четырёх уравнений с 8 неизвестными. Ещё две системы уравнений можно получить, приравняв нулю выражение $\tilde{F}_2(\nu_j) = 0$; ($j=1,2,3,4$) на корнях знаменателя $\nu^4 + 4\beta_2^4 = 0$ и выражение $\tilde{F}_3(\nu_j) = 0$; ($j=1,2,3,4$) на корнях знаменателя $\nu^4 + 4\beta_3^4 = 0$.

Учитывая равенство перемещений, углов поворота, моментов и поперечных сил в местах сопряжения участков сваи, формируется общая матрица коэффициентов при неизвестных, которая в данном случае имеет размерность (12×12) . Расчёт по разработанной методике показал, что наименьшие перемещения наблюдаются у так называемой «литой» сваи, где поверхностное уширение

является частью тела сваи и для уширений с наклонными боковыми гранями (рис. 15).

Пример – матрица коэффициентов нижнего элемента сваи с учётом граничных условий на нижнем конце сваи:

$$\begin{bmatrix} Q(0) & M(0) & u'(0) & u(0) & u'(l_3) & u(l_3) \\ \frac{1}{EI_2} & \frac{-i\beta_2(1+i)}{EI_2} & -2\beta_2^2 i & -i2\beta_2^3(-1+i) & -2\beta_2^2 e^{i\nu_2 l_3} & -i2\beta_2^3(-1+i)e^{i\nu_2 l_3} \\ \frac{1}{EI_2} & \frac{-i\beta_2(-1+i)}{EI_2} & 2\beta_2^2 i & -i2\beta_2^3(1+i) & 2\beta_2^2 e^{i\nu_2 l_3} & -i2\beta_2^3(1+i)e^{i\nu_2 l_3} \\ \frac{1}{EI_2} & \frac{-i\beta_2(-1-i)}{EI_2} & -2\beta_2^2 i & -i2\beta_2^3(1-i) & -2\beta_2^2 e^{i\nu_2 l_3} & -i2\beta_2^3(1-i)e^{i\nu_2 l_3} \\ \frac{1}{EI_2} & \frac{-i\beta_2(1-i)}{EI_2} & 2\beta_2^2 i & -i2\beta_2^3(-1-i) & 2\beta_2^2 e^{i\nu_2 l_3} & -i2\beta_2^3(-1-i)e^{i\nu_2 l_3} \end{bmatrix} \quad (5)$$

Для определения изгибающего момента и поперечной силы, возникающих в сечениях сваи с уширениями от горизонтальной нагрузки, была применена методика расчета, разработанная профессором А.Л. Готманом для пирамидальных свай на горизонтальную нагрузку с учётом трения по боковым граням. Отличие расчётной схемы сваи с уширениями заключается в граничных условиях на верхнем и(или) нижнем концах конструкции.

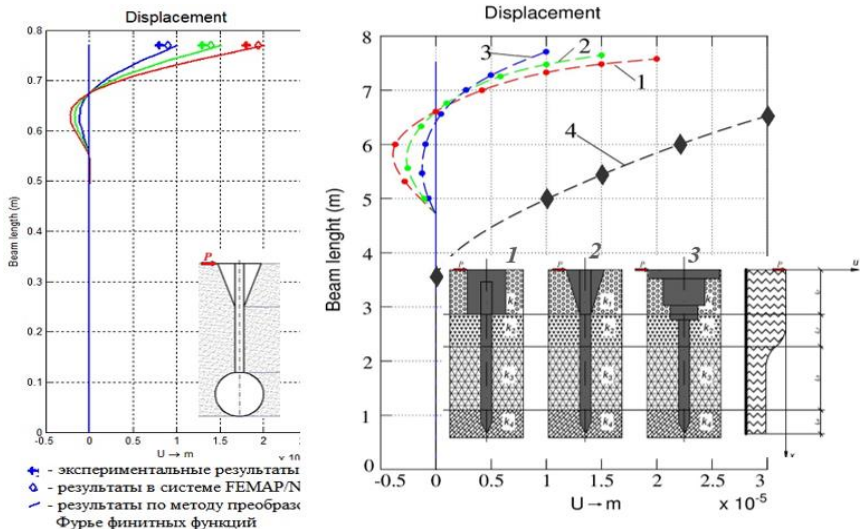


Рисунок 15 - Сравнительный анализ перемещений свай с различными типами уширений от горизонтальной нагрузки, полученные экспериментально, аналитически по методу преобразований Фурье и численного моделирования (слева) и полученные аналитически (справа): 1 - с забивным оголовком; 2 - с клиньями; 3 - со ступенчатым уширением; 4 - без уширения

Граничные условия: $z = I, U_e = 0, M_e = 0, Q_e = P$, где P - реактивная сила, возникающая в уровне нижнего конца сваи. Изменение горизонтального перемещения сваи U_z по глубине: $U_z = U_0(1 - z/l_0)$ Принимаем предпосылки:

- свая с совместными концевым и поверхностным уширением состоит из трёх разных по сечению частей: клиновидного поверхностного уширения, призматической части сваи и концевого сферического уширения.

- размер стороны сечения поверхностного уширения в виде сборных клиньев длиной 3 метра принимаем с глубиной по следующей линейной зависимости:

$$d_{\text{пов.уш.}z} = d_{\text{пов.уш.}0} - \xi d_{\text{пов.уш.}0} z;$$

- размер стороны сечения призматической части тела сваи принимаем по зависимости: $d_{\text{св.}z} = d_{\text{св.}} - \xi d_{\text{св.}z} z$ $\xi = (d_{\text{св.}0} - d_{\text{св.}z}) / l_{\text{призм.св.}}$ $d_{\text{св.}0}$

$$\xi_{\text{пов.уш.}} = (d_{\text{пов.уш.}0} - d_{\text{пов.уш.}z}) / l_{\text{пов.уш.}} d_{\text{пов.уш.}0} \quad (6)$$

где $d_{\text{св.}}$ и $d_{\text{св.}z}$ - размеры стороны сечения соответственно верха и низа поверхностного уширения в виде сборных клиньев; $d_{\text{пов.уш.}0}$ и $d_{\text{пов.уш.}z}$ - размеры стороны сечения верха и низа призматической части сваи; $l_{\text{призм.св.}}$ и $l_{\text{пов.уш.}}$ - длина призматической части сваи и поверхностного уширения; z - расстояние от поверхности грунта до рассматриваемого сечения уширения или части сваи (рис. 16).

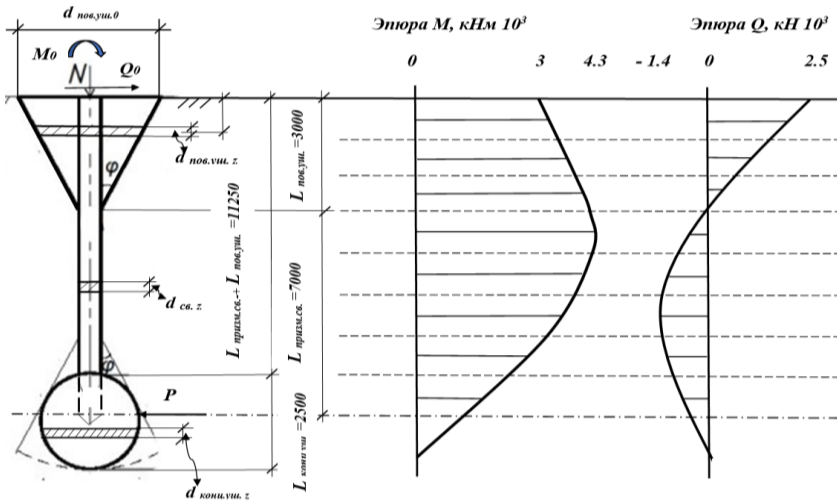


Рисунок 16 - Расчётная схема сваи с концевым и поверхностным уширениями и эпюры изгибающего момента и поперечной силы с учётом трения на боковой поверхности

Тогда из условия равновесия действующих и реактивных сил, Q_z и M_z в произвольном сечении сваи на глубине z при действии нагрузки H_0 и изгибающего момента M_0 : $Q_0 = H_0 - Q^p_z$; $M_z = M_0 + H_0 z - M^p_z$. После интегрирования и с учётом граничных условий получаем систему двух уравнений, из решений которой получим формулы для определения перемещения и угла поворота сваи в уровне поверхности грунта:

$$U_0 = H_0 \delta_{ин} + M_0 \delta_{мн}; \quad \varphi_0 = H_0 \delta_{мн} + M_0 \delta_{мм},$$

где $\delta_{ин}$ и $\delta_{мн}$ - горизонтальное перемещение и угол поворота конструкции в уровне поверхности грунта от $H_0=1$; $\delta_{мм}$ и $\delta_{мм}$ - горизонтальное перемещение и угол поворота конструкции в уровне поверхности грунта от $M_0=1$. Результаты, полученные аналитически (рис. 16), имеют хорошую сходимость с численными и экспериментальными данными.

В пятом разделе обоснованы исходные сейсмические данные для расчёта общей системы «основание - свайный фундамент с уширениями-сооружение» и определения параметров сейсмического воздействия на фундамент из свай с уширениями. Для оценки максимальных (пиковых) значений реакций применяли спектр ответов или преобразование Фурье.

При гармоническом воздействии дифференциальное уравнение имеет вид, подобный статическому, где параметр уменьшается величиной равной $\rho A \omega^2$:

$$\tilde{u}_2(\nu) \left[\nu^4 + 4\beta_2^4 \left(1 - \frac{\rho_2 A_2 \omega^2}{k} \right) \right] = u_2(0, \omega)(-i\nu)^3 + u'_2(0, \omega)(-i\nu)^2 + \frac{M_2(0, \omega)(-i\nu)}{E_2 I_2} + \frac{Q_2(0, \omega)}{E_2 I_2} \quad (7)$$

$$- u_2(l_2, \omega)(-i\nu)^3 e^{i\nu l_2} - u'_2(l_2, \omega)(-i\nu)^2 e^{i\nu l_2} - \frac{M_2(l_2, \omega)(-i\nu) e^{i\nu l_2}}{E_2 I_2} - \frac{Q_2(l_2, \omega) e^{i\nu l_2}}{E_2 I_2}$$

Обозначив правую часть уравнения $F_2(\nu)$ и $\eta_2^2 = \frac{\rho_2 A_2 \omega^2}{k_2}$, получим:

$$\tilde{u}_2(\nu) \left[\nu^4 + 4\beta_2^4 (1 - \eta_2^2) \right] = F_2(\nu); \quad \tilde{u}_2(\nu) = \frac{F_2(\nu)}{\nu^4 + 4\beta_2^4 (1 - \eta_2^2)} \quad (8)$$

Уравнения (8) содержат восемь неизвестных значений на концах элемента сваи. В соответствии с теоремой Винера-Пэли-Шварца функция $Q(\nu)$ является целой функцией, поэтому должны выполняться четыре условия: $\tilde{u}(\nu_j) = 0$,

$j = 1, 2, 3, 4$, где ν_j — корни выражения

$$\nu_1 = \sqrt[4]{1 - \eta^2} \beta (1 + i); \nu_2 = \sqrt[4]{1 - \eta^2} \beta (-1 + i); \nu_3 = \sqrt[4]{1 - \eta^2} \beta (-1 - i); \nu_4 = \sqrt[4]{1 - \eta^2} \beta (1 - i)$$

$$\nu^4 + 4\beta^4 (1 - \eta^2) = 0.$$

$$u(l_1)(-iv_j)^3 e^{-iv_j l_1} - u(l_2)(-iv_j)^3 e^{iv_j l_2} + u'(l_1)(-iv_j)^2 e^{-iv_j l_1} - u'(l_2)(-iv_j)^2 e^{iv_j l_2} + \frac{M(l_1)(-iv_j)e^{-iv_j l_1}}{E_i I_i} - \frac{M(l_2)(-iv_j)e^{iv_j l_2}}{E_i I_i} + \frac{Q(l_1)e^{-iv_j l_1}}{E_i I_i} - \frac{Q(l_2)e^{iv_j l_2}}{E_i I_i} - 4\beta^4 u_e = 0 \quad (9)$$

Где, $j = 1, 2, 3, 4$. Четыре уравнения устанавливают зависимости между восемью граничными условиями, т.е. представляют собой конечный элемент сваи с уширениями (рис. 17). Свайные фундаменты с высоким ростверком под опоры мостов, высотные здания и другие транспортные сооружения имеют существенные преимущества перед фундаментами с заглублённой в грунт плитой при сейсмических воздействиях. Модели для определения воздействия сейсмических волн на фундаменты мостов характеризуются параметрами: G_1 и ν_1 - модуль сдвига и коэффициент Пуассона поверхностного слоя грунта, α - скорость распространения продольных волн в грунте, β - скорость распространения поперечных волн в грунте; ρ - плотность грунта.

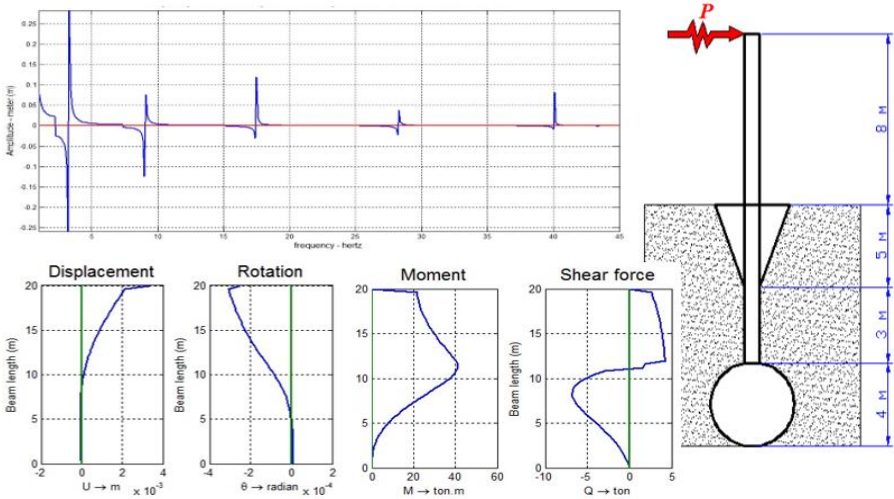


Рисунок 17 - Расчётная схема сваи с совместными поверхностными и концевыми уширениями при гармоническом воздействии (справа), амплитуда колебаний при гармоническом воздействии в 10 тонн (вверху) и результаты изгибных деформаций, колебаний, момента и поперечного усилия (внизу)

Колебания длинной ступенчатой сваи с высоким ростверком (оголовком) (рис. 18) рассматриваются для сваи с уширением наверху, находящейся в пластах грунта с разными свойствами и расширяющейся к низу.

$$\begin{aligned}
& E I_i \frac{\partial^4 u(x, t)}{\partial x^4} + k_i(x, t) + \rho_i A_i \frac{\partial^4 u(x, t)}{\partial t^2} = f(x, t) + E I_i u(l_i) \delta'''(x + l_i) + E I_i u'(l_i) \delta''(x + l_i) + E I_i u''(l_i) \delta'(x + l_i) + \\
& + E I_i u'''(l_i) \delta(x + l_i) - E I_i u(l_2) \delta'''(x - l_2) - E I_i u'(l_2) \delta''(x - l_2) - E I_i u''(l_2) \delta'(x - l_2) - E I_i u'''(l_2) \delta(x - l_2) + \\
& + \rho_i A_i \frac{\partial^4 u(x, 0)}{\partial t^2} \delta(t) + \rho_i A_i u(x, 0) \delta(t)
\end{aligned} \quad (10)$$

- дифференциальное уравнение колебаний находящегося в грунте элемента сваи в обобщённых функциях, где ρ - плотность материала ростверка, κ_2/M^3 ; A - площадь поперечного сечения сваи M^2 ; $E I_i$ - изгибная жёсткость сваи; k_i - коэффициент постели основания сваи, H/M^3 . При сейсмическом воздействии, определяемом ускорением колебаний грунта $\ddot{u}_g(t)$ при нулевых начальных условиях:

В уравнении (10) функция $u_i(x, t)$ представляет собой относительное движение, $u_g(x, t)$ - переносное движение. Применим преобразование Фурье по двум переменным, введя обозначение $k / EI = 4\rho^4$, $c = \sqrt{E / \rho}$; [м/с] - скорость распространения волн в стержне, $r = \sqrt{I / A}$; [м] - радиус инерции поперечного сечения сваи, v и ω - параметры преобразования Фурье по длине (x) и по времени (t) и $\omega_0 = \sqrt{\frac{k}{\rho A}}$ - собственная частота колебаний сваи с уширением как твёрдого тела. Граничные условия для верхнего конца сваи:

$$\begin{aligned}
E I u'''(0, \omega) &= -m_r \omega^2 u(0, \omega) \quad \Rightarrow \quad u'''(0, \omega) = -\frac{m_r \omega^2 u(0, \omega)}{E I} \\
E I u''(0, \omega) &= -I_r \omega^2 u'(0, \omega) \quad \Rightarrow \quad u''(0, \omega) = -\frac{I_r \omega^2 u'(0, \omega)}{E I}
\end{aligned} \quad (11)$$

где $I_r = I_d = \frac{1}{12} m_r \cdot (h^2 + b^2)$ - центральный момент инерции (для элемента, верхнего уширения), m_r - масса ростверка, κ_2 ; h - высота ростверка, m ; b - ширина ростверка, m . Используя граничные условия, запишем четыре уравнения для определения шести неизвестных:

$$\begin{aligned}
\Psi(v, \omega) &= u(l_1, \omega) e^{-iv l_1} \left\{ (-iv)^3 - \frac{m_r \omega^2}{(EI)^2} \right\} + u'(l_1, \omega) e^{-iv l_1} \left\{ (-iv)^2 + \frac{I_r \omega^2 \cdot (iv)}{(EI)^2} \right\} + \\
&- u(l_2, \omega) (-iv)^3 e^{iv l_2} - u'(l_2, \omega) (-iv)^2 e^{iv l_2} - \frac{M(l_2, \omega) (-iv) e^{iv l_2}}{E I_i} - \frac{Q(l_2, \omega) e^{iv l_2}}{E I_i};
\end{aligned} \quad (12)$$

Для последующих нижних элементов сваи, кроме последнего, записываются по четыре уравнения для восьми граничных неизвестных: перемещений, углов поворота, моментов и поперечных сил. Для элементов сваи с коэффициентом жёсткости основания, не равным нулю, корни знаменателей определяются выражениями (9). В качестве примера ниже представлена матрица

жёсткости самого верхнего элемента сваи, заделанного в ростерк. Матрицы коэффициентов для элементов, находящихся в грунте, имеют такой же вид, как матрица (20). Отличие коэффициентов матриц заключается в корнях знаменателя, а в правых частях уравнений, должна быть учтена инерционная нагрузка

$$\frac{1}{c^2 r^2} \ddot{u}_g(\omega) \cdot \begin{bmatrix} (-iv_1)^3 - \frac{m_r \omega^2}{(E_1 I_1)^2} & (-iv_1)^2 + \frac{I_r \omega^2 \cdot (iv_1)}{(E_1 I_1)^2} & (iv_1)^3 \cdot e^{iv_1 l} & -(iv_1)^2 \cdot e^{iv_1 l} & \frac{iv_1 \cdot e^{iv_1 l}}{E_1 I_1} & \frac{-e^{iv_1 l}}{E_1 I_1} \\ (-iv_2)^3 - \frac{m_r \omega^2}{(E_2 I_2)^2} & (-iv_2)^2 + \frac{I_r \omega^2 \cdot (iv_2)}{(E_2 I_2)^2} & (iv_2)^3 \cdot e^{iv_2 l} & -(iv_2)^2 \cdot e^{iv_2 l} & \frac{iv_2 \cdot e^{iv_2 l}}{E_2 I_2} & \frac{-e^{iv_2 l}}{E_2 I_2} \\ (-iv_3)^3 - \frac{m_r \omega^2}{(E_3 I_3)^2} & (-iv_3)^2 + \frac{I_r \omega^2 \cdot (iv_3)}{(E_3 I_3)^2} & (iv_3)^3 \cdot e^{iv_3 l} & -(iv_3)^2 \cdot e^{iv_3 l} & \frac{iv_3 \cdot e^{iv_3 l}}{E_3 I_3} & \frac{-e^{iv_3 l}}{E_3 I_3} \\ (-iv_4)^3 - \frac{m_r \omega^2}{(E_4 I_4)^2} & (-iv_4)^2 + \frac{I_r \omega^2 \cdot (iv_4)}{(E_4 I_4)^2} & (iv_4)^3 \cdot e^{iv_4 l} & -(iv_4)^2 \cdot e^{iv_4 l} & \frac{iv_4 \cdot e^{iv_4 l}}{E_4 I_4} & \frac{-e^{iv_4 l}}{E_4 I_4} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} u(0) \\ \varphi(0) \\ u(l) \\ \varphi(l) \\ M(l) \\ Q(l) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix} \quad (13)$$

С помощью MATLAB получены результаты изгибных деформаций, колебаний, момента и поперечного усилия сваи с поверхностным уширением с высоким ростерком (оголовком) при сейсмическом воздействии длиной 50м. (рис. 18 - 20).

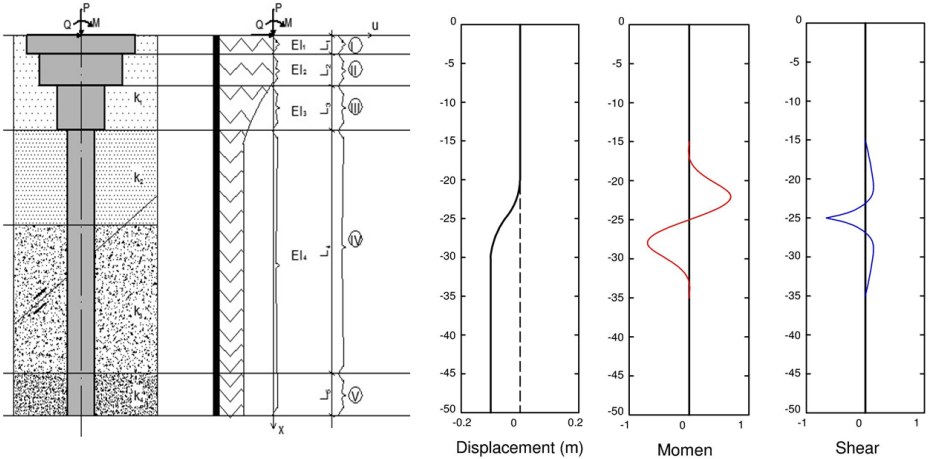


Рисунок 18 - Расчётная схема (слева) и эпюры изгиба, момента и поперечной силы длинной сваи с уширением сверху в виде ступеней при изломе в результате разжижения грунта (справа)

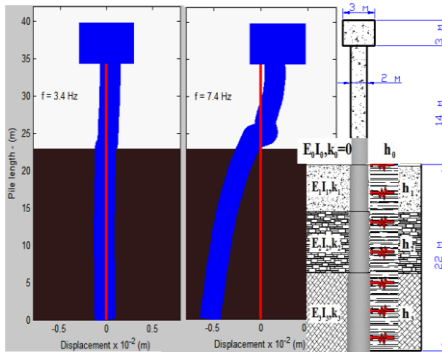


Рисунок 19 - Результаты колебаний и расчётная свая с уширением в виде ступеней с высоким ростверком (оголовком) при сейсмическом воздействии

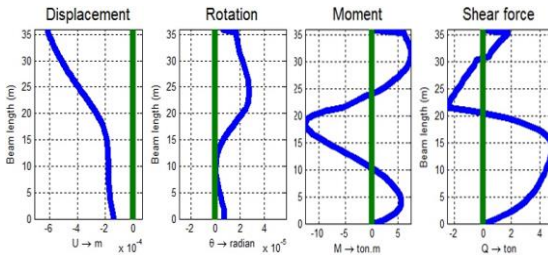


Рисунок 20 - Результаты изгибных деформаций, колебаний, момента и поперечного усилия свая с высоким ростверком при сейсмическом воздействии

В шестом разделе выполнены исследования напряженно-деформированного состояния групп свай с уширениями на действие статических и динамических нагрузок (рис. 21).

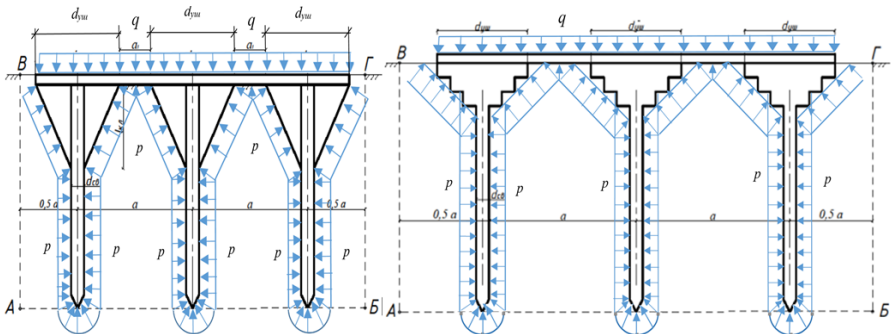


Рисунок 21 - Расчётные схемы группы свай с поверхностными уширениями в виде сборных клиньев (слева) и ступеней (справа)

Рассмотрены расчётные схемы при расчёте на статическое воздействие для четырёх случаев группы свай с поверхностными и концевыми уширениями: с поверхностными уширениями в виде клиньев и ступеней (см. рис. 21); с концевыми сферическими уширениями (жёсткими), отстоящими друг от друга на

расстоянии a_1 и пересекающимися друг друга (см. рис. 22).

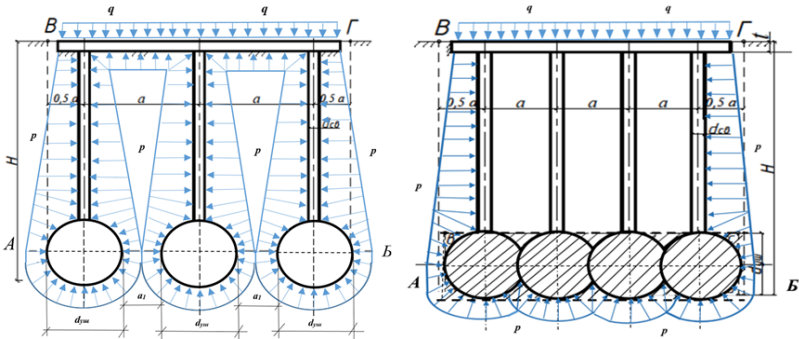


Рисунок 22 - Расчётные схемы группы свай с концевыми сферическими уширениями (жёсткими), отстоящими друг от друга на расстоянии a_1 (слева) и пересекающимися друг друга (справа)

Для решения вопросов распределения сил трения по боковой поверхности свай с уширениями при их работе в составе свайных кустов, распределения нагрузки между сваями, уширениями, между остриём и боковой поверхностью выполнены расчёты по разработанной методике определения осадок кустов свай с низким ростверком при расстоянии между сваями от 3 до $6d$. Эта методика, основанная на методике Бартоломея А.А. и Омельчака И.М., учитывает глубину приложения нагрузки, её передачу через боковую поверхность фундамента и уширения, коэффициент бокового расширения грунта, напряжения и деформации во всей активной зоне.

В общем виде характер передачи нагрузки через боковую поверхность и в плоскости нижних концов группы свай с уширениями можно записать следующим образом:

$$P_{(x,y,h)} = P \left[\frac{\alpha_1}{4(a+b)l_{св,уш}} + \frac{2\alpha_2 h}{4(a+b)l_{св,уш}^2} + \frac{3\alpha_3 h^2}{4(a+b)l_{св,уш}^3} \right] l_{1св,уш} + P \left[\frac{\beta_1}{4ab} + \frac{9\beta_2(a^2 - x^2)(b^2 - y^2)}{16a^3b^3} \right] l_{2св,уш} \quad (14)$$

где, α_n, β_n — безразмерные коэффициенты, зависящие от вида эпюр передачи нагрузки по боковой поверхности и в плоскости острия свай с уширением; P — нагрузка на свайный фундамент с уширением, Н; $l_{св,уш}$ — длина свай с уширениями;

h — глубина рассматриваемой точки; $2a, 2b$ — размеры условного фундамента в плане с учётом уширений; $P_{(x,y,h)}$ — удельная нагрузка по боковой поверхности в плоскости острия свай с уширениями, кПа. Для практического пользования формула расчёта осадок кустов свай приведена к виду:

$$S_{св,уш} = -\frac{P}{El_{св,уш}} - W_0 \quad \text{где, } S_{св,уш}$$

– осадка куста свай с уширениями, см; E – модуль деформации грунта, кПа.
 $E = PW_0 / SI$

Замеры физико-механических характеристик основания в активной фазе напряжённо-деформированного состояния куста из четырёх свай с концевыми уширениями сферического формообразования, проведённые в экспериментах и полученные аналитически, показали необходимость выделения при проектировании не четырёх (как по Бартоломео А.А., Омельчаку И.М., Юшкову Б.С.), а шести активных зон: *первая зона* - внутри фундамента, наружная граница которой проходит по внутренней боковой поверхности сваи со сферическим концевым уширением крайнего ряда; *вторая зона* расположена в межсвайном пространстве крайнего ряда свай со сферическим концевым уширением; *третья зона* - в окосферическом пространстве вокруг уширения, радиусы которого составляют 2 - $3d_{\text{уш}}$ и 5 - $7d_{\text{уш}}$ соответственно; *четвёртая и пятая* зоны охватывают внутреннюю поверхность крайнего ряда свай со сферическим концевым уширением; шестая зона не имеет чёткой границы, не влияет на несущую способность фундамента, грунт из уплотнённого состояния этой зоны постепенно переходит в природное (рис. 23).

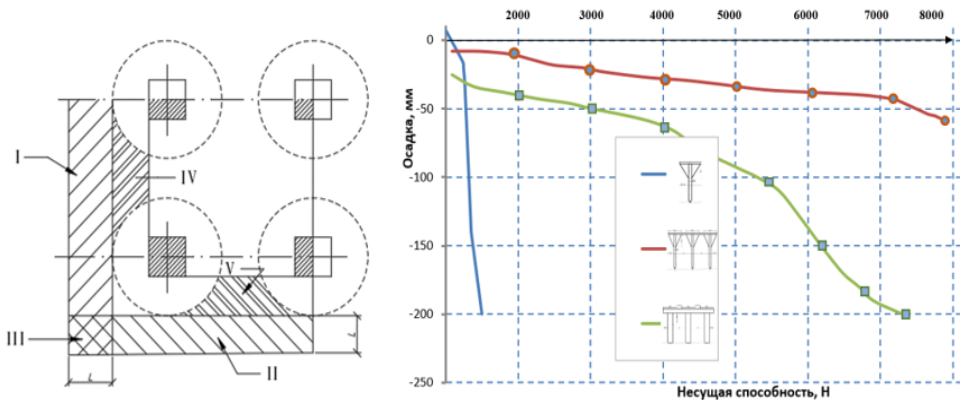


Рисунок 23 - Расчётная схема с зонами для группы свай с уширениями (слева) и графики «несущая способность – осадка» для одиночной сваи с уширением в виде сборных клиньев и 9 свай в кусте с уширениями и без

Часть грунта выдавливается за пределы фундамента в зону шириной L , состоящую из шести участков; пористость в ней убывает от E на границе уплотненной зоны до $E_{\min}$ на границе с фундаментом. Убывание пористости происходит по квадратичному закону:

$$E(x) = E - \frac{E - E_{\min}}{L^2} x^2 \quad (15)$$

Для вычисления ширины зоны уплотнения L через E и $E_{\min}$ для фундамента из 4-х свай с концевыми сферическими уширениями длиной 9 м (рис.24). воспользуемся следующей формулой:

$$L = \frac{(E - E_{\min}) \left(\sqrt{\frac{1 + E}{E - E_{\min}}} * 2 \right) d_0}{(1 + E)(1 + E_{\min})J}, \quad (16)$$

В результате расчётов при нагрузках, близких к предельным, максимальной несущей способностью обладали угловые сваи с поверхностными уширениями. Например, при $P = 7000$ кН угловые воспринимали по 934 кН на каждую; средние сваи крайнего ряда - по 700 кН, то есть на 25% меньше и центральная - 464 кН (см. рис. 23). При нагрузке $P = 8000$ кН распределение между угловыми сваями с уширениями: угловая - 1466 кН, что составляет 110% несущей способности, усреднённой на одну сваю; средние сваи крайних рядов - по 1067 кН, то есть 80% от несущей способности.

При вертикальном нагружении, приближающемся к предельному значению $P = 17380$ кН для 16 буронабивных свай диаметром 0,8 м и длиной 10 м с концевыми уширениями диаметром 2,5 м в водонасыщенном основании распределение несущей способности осуществлялось следующим образом: угловые сваи - от 21% до 11,6% (4 сваи); крайние боковые - от 13,2% до 17,6 % (8 свай); центральные - от 3,2% до 10,6% (4 сваи). Аналогичные результаты получены и с помощью численного моделирования (см. рис. 24).

Свайные фундаменты под опоры ЛЭП, опоры мостов, пилонов для покрытий большепролётных сооружений, а также для объектов, эксплуатируемых на территориях с продолжительным морозным пучением, часто работают на выдергивание. Способ передачи нагрузки от сваи к грунту сложен.

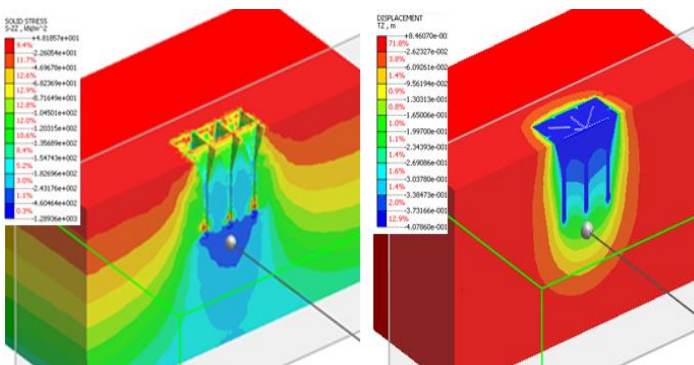


Рисунок 24 -
Изополя
нормальных
напряжений в
грунтовом
основании вокруг
куста из 6 свай с
уширениями в
виде клиньев и
осадка при
нагрузке 800 т

Выполнено численное моделирование свайно-плитных фундаментов с варьированием параметров концевых уширений и распределением напряжённо-

деформированного состояния между центральными, боковыми и угловыми сваями (рис.25)

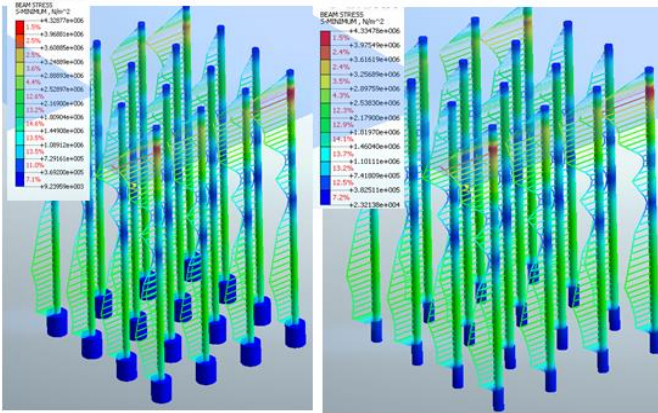
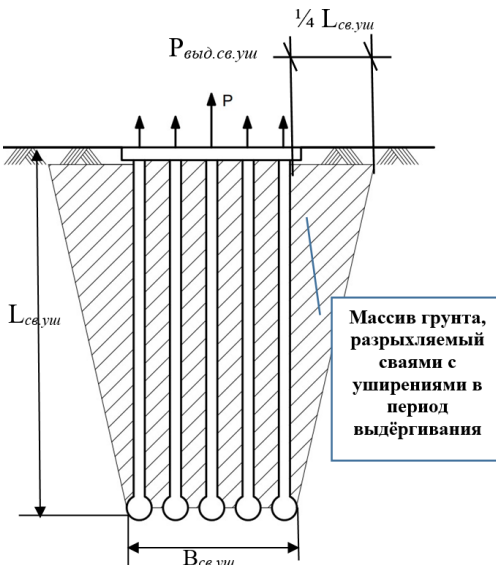


Рисунок 25 -
Изополя
касательных
напряжений τ_{xy} для
буронабивных свай с
уширениями
диаметром 2,5 м
(слева) и диаметром
1,3 м (справа)

Упрощённый способ расчёта группы свай с уширениями на выдергивание, заглублённых в грунт без сцепления, базируется на том, что за объём грунта, который должен быть поднят группой свай, можно принять разброс нагрузки в горизонтальной плоскости на расстоянии $\frac{1}{4} L_{св.уш.}$ от боковых граней куста.

Уравнение для общей несущей способности $P_{ВЫД.К.СВ.}$ куста свай с уширениями может быть выражено следующим образом:

$$P_{ВЫД.К.СВ.} = L_{св.уш.} \left(L_{к.св.уш.} + B_{к.св.уш.} \right) c_u + W \quad (17)$$



где $L_{св.уш.}$ - длина свай с
уширением, м; $L_{к.св.уш.}$ и $B_{к.св.уш.}$
- общая длина и ширина группы

свай с уширениями, м; c_u - средняя
прочность грунта на сдвиг без
дренажа по краям группы; W -
суммарный вес блока грунта,
заклученного в группу свай с
уширениями, плюс вес свай (рис.
26).

Рисунок 26 - Схема выдергивания
группы близко расположенных свай
с концевыми уширениями в
несвязных грунтах

Эффективность подъема E группы свай вес уширений и плиты свайного

$$E = \frac{P_{\text{ВЫД.К.СВ.}}}{nP_{\text{ВЫД.1.СВ.}}}, \text{ где } n - \text{количество}$$

фундамента может быть выражена как:

$P_{\text{ВЫД.1.СВ.}}$ - усреднённая несущая способность свай с уширением в кусте; Группы свайных фундаментов (длиной более 30 метров) пилонов, колонн и опор высотных, многоэтажных большепролетных зданий, а также в мостостроении на слабых структурно-неустойчивых основаниях часто идеализируют при расчётах на сейсмические воздействия с помощью набора боковых и вертикальных грунтовых пружин, представляющих собой ограничение окружающего грунтового полупространства (рис. 27). Основной причиной потери устойчивости и обрушения фундаментов свай является недоучет веса воды при разжижении, вызванном землетрясением. Для свайно-плитного фундамента с концевыми уширениями необходимо проводить анализ излома центральных, угловых и боковых свай с помощью аналитических и численных методов.

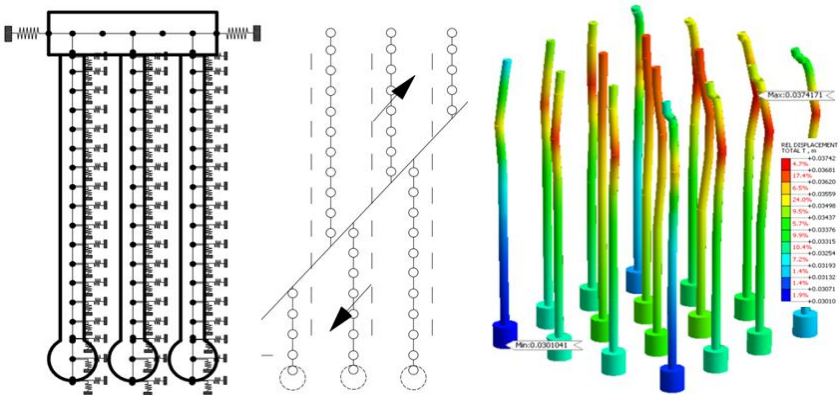


Рисунок 27 - Расчётная схема с боковыми и вертикальными грунтовыми пружинами в расчётах кустов свай с уширениями на сейсмические воздействия (слева), излом свай в кусте при разжижении (в центре), изополя пластических шарниров в изломах свай с уширениями при разжижении (справа)

Доказано, что при дискретизации модели при изломе свай в кусте под углом 45° (частный случай), когда дислокация разлома ΔF увеличивается до 2 м, максимальная кривизна свай с уширениями достигает предельной кривизны φ_u в уровне ниже $2/3$ от длины свай, $1/2$ и в уровне $1/3$ от длины свай у левой боковой, центральной и правой боковой свай, соответственно, что подтверждено и численным анализом. Когда сваи подвергаются смещению, как показано на рис. 30, непосредственно смещению поддаются левые сваи выше плоскости разлома и

правые - ниже неё (см. рис. 27, центр), которые называют передними сваями. Выполненные расчёты показывают, что длина закрепления в твердом слое сваи с уширением, не поддающемуся разжижению, в 3 - 6 раз должна превышать её диаметр. А основная нагрузка передаётся через уширение, то есть через увеличившуюся площадь опирания, даже при потере бокового трения уширение обеспечивает надёжную опору. Выполненное численное моделирование системы «свайный фундамент с уширениями - плита - грунтовое основание с разжиженным средним слоем» для группы свай с концевыми уширениями при сейсмическом воздействии полностью подтверждает характер образования пластических шарниров в результате изгиба и излома свай, а также характер перераспределения предельной несущей способности и жесткостей свай с уширениями в кусте.

В ПК MIDAS GTS NX были заданы граничные условия, параметры конструкций, исходные данные спектра ускорений, акселерограмма и физические параметры грунтового основания, полученные экспериментальным путём в результате спектрально-временного анализа (рис. 28).

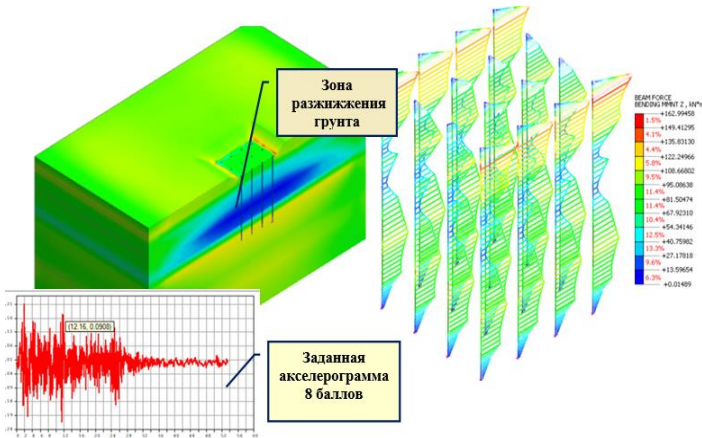


Рисунок 28 -
Конечно-
элементная модель
системы «свайный
фундамент с
уширениями-
плита-грунтовое
основание с
разжиженным
средним слоем» и
заданная
акселерограмма
землетрясения
(слева)

В седьмом разделе обобщена разработанная научно-обоснованная методология проектирования эффективных конструкций и технологии устройства фундаментов из свай с концевыми и (или) поверхностными уширениями на слабых, структурно-неустойчивых грунтах при статических и динамических воздействиях. Представлены рекомендации по проектированию таких фундаментов, результаты технико-экономического обоснования применения данных конструкций по сравнению со сваями без уширений готового и набивного типа, а также внедрение результатов исследований в практику проектирования, строительства, эксплуатации и проведения строительно-технических экспертиз геоподосновы, оснований и фундаментов.

Методология расчета фундаментов из свай с уширениями включает следующие шесть этапов (рис. 29, 30) для свай с различными видами уширений:

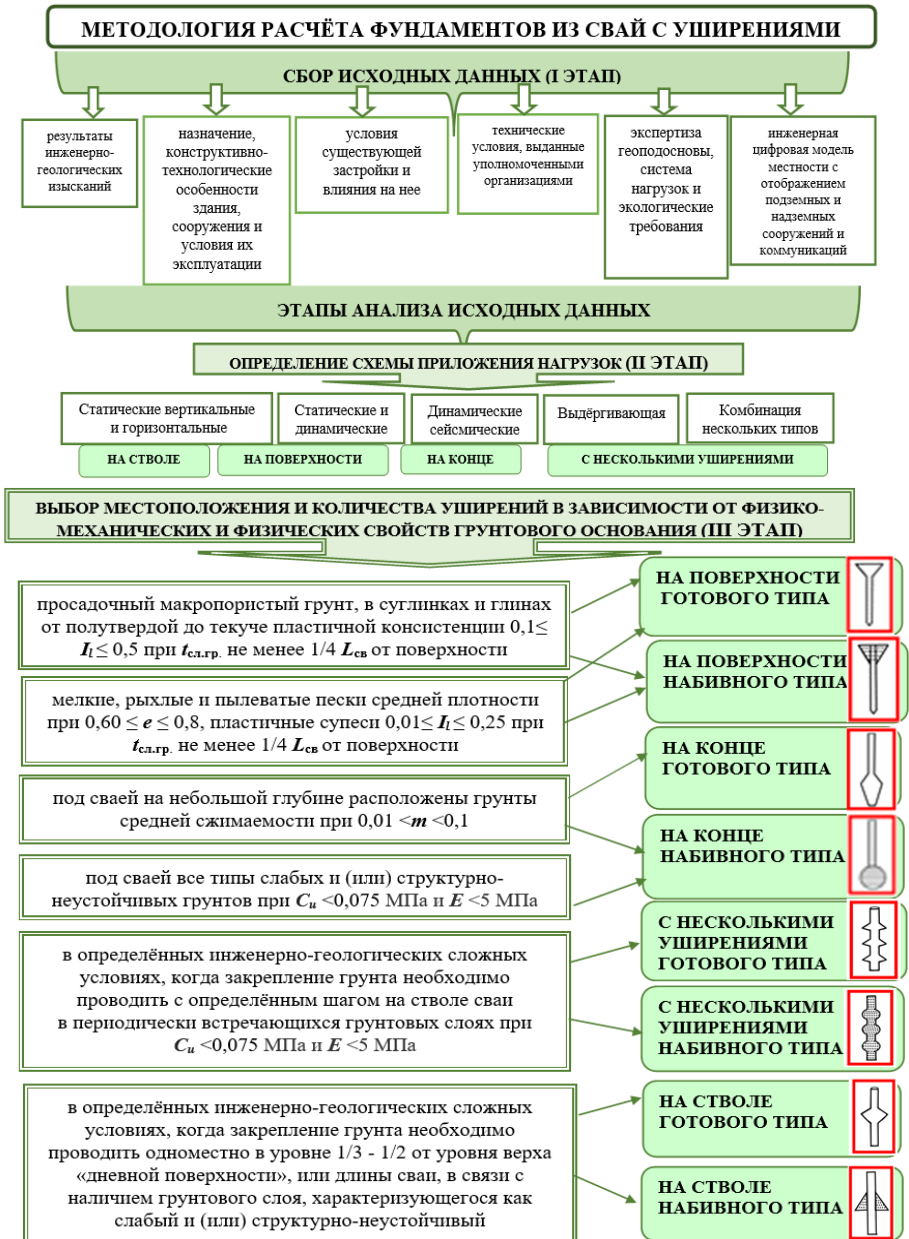


Рисунок 29 - Этапы сбора, анализа исходных данных, выбора схемы приложения нагрузок и уширений в методологии

сбор исходных данных согласно СП; определение схем приложения нагрузок (статические, динамические, сейсмические и выдёргивающие); выбор местоположения и количества уширений в зависимости от физико-механических свойств грунтового основания при статических нагрузках и физических параметров при динамических воздействиях; определение материала и технологии устройства уширений свай; формирование расчётных схем, выбор наиболее эффективной формы уширения.

На этапе III (рис. 29) даны рекомендации по выбору местоположения и количества уширений на теле сваи в зависимости от физико-механических и физических свойств грунтового основания. Наиболее полно даны рекомендации по подбору геометрической формы уширений для формирования расчётных схем на стадиях конструирования и проектирования фундаментов из свай с концевыми и (или) поверхностными уширениями в зависимости от конструктивного решения сваи, технологии её погружения и устройства уширения, а также грунтовых условий.

Этап VI характеризуется в методологии выбором методов расчёта свай с уширениями и их параметрических входных данных для расчёта. При проектировании свайных фундаментов с уширениями необходимо руководствоваться и принимать во внимание: данные геотехнических изысканий; информацией о сейсмической активности региона строительства; сведениями о функциональном назначении, конструктивных особенностях, применяемых технологиях и условиях использования здания; воздействующих на фундамент нагрузках; состоянии окружающей застройки и потенциальном влиянии на нее нового строительства; экологическим законодательством; технико-экономическому обоснованию выбора оптимальных проектных решений; геологической основе или цифровой модели территории (ЦМТ), включающей информацию о подземных и наземных коммуникациях и объектах; техническими регламентами, предоставленными компетентными организациями. Обязательным требованием является проведение расчетов одиночных свай с уширениями и их групп по статической, динамической и технико-экономической составляющим (рис. 31).

Выполнен технико-экономический расчёт стоимости возведения трёх типов свайных полей с концевыми и (или) поверхностными уширениями в сравнительном анализе с конструкциями двух типов свай без уширений (готовые и набивные), используя критерии конструктивной и экономической эффективности. Расчёт выполнен с помощью ПК ГРАНД-СМЕТА-2024 базисно-индексным методом в ценах 3-го квартала 2024 года для Московской области, исходя из суммарной несущей способности по грунту: сваи с уширениями в виде клиньев - 65 шт.; буронабивные сваи с уширениями из втрамбованного щебня - 67 шт.; сваи с верхними клиньями и нижними уширениями из втрамбованного щебня - 50 шт.; призматические сваи - 100 шт. и буронабивные сваи без уширений - 100 шт.

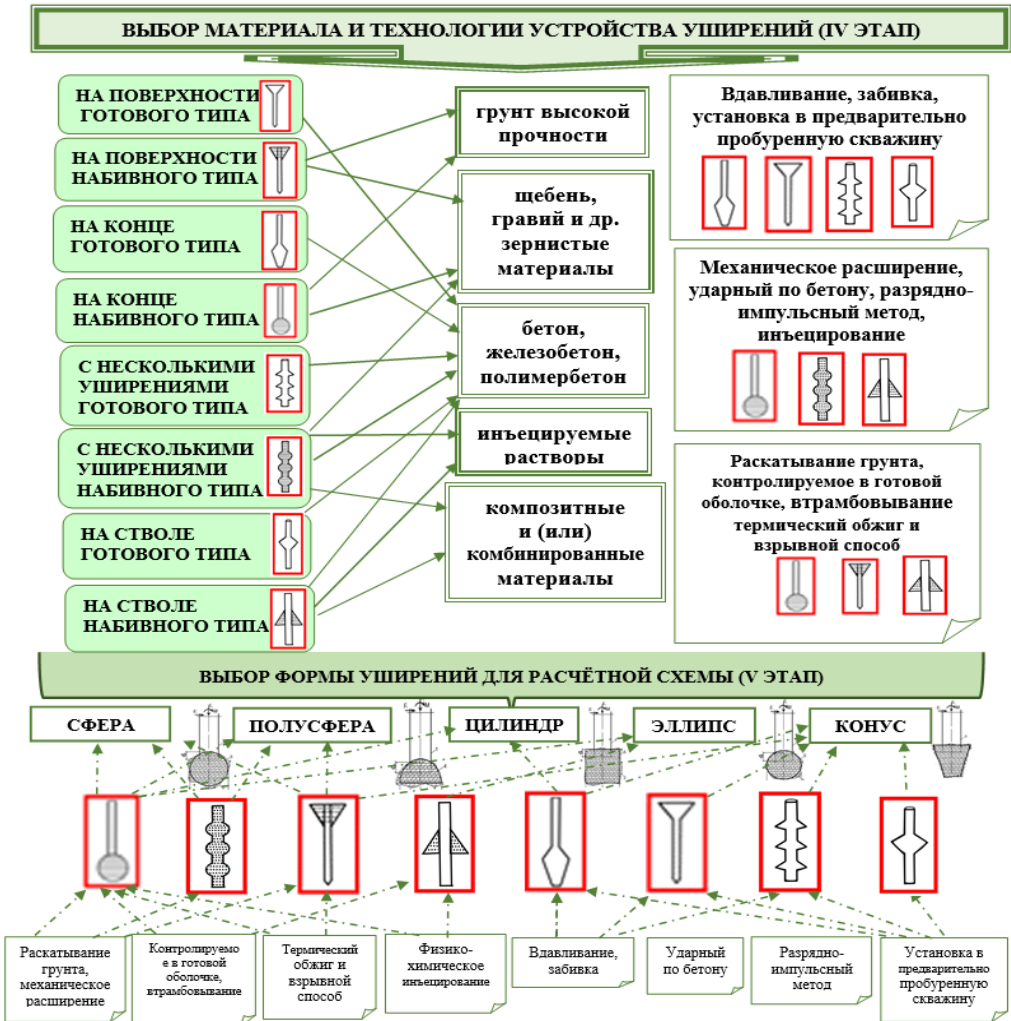


Рисунок 30 - Этапы выбора материала, технологии устройства уширений свай, их формы для формирования расчётных схем в методологии и методы расчёта

Экономическая эффективность возведения свайных полей с уширениями из готовых типов свай по сравнению со свайным полем без уширений, при одинаковой несущей способности по грунту, составила от 32% до 51%, для свайных полей с использованием буронабивных свай - 11%. Результаты технико-

экономического обоснования подбора конструктивного решения фундаментов из свай с уширениями приведены в таблице.



Рисунок 31 - Основные показатели методов расчёта свай с уширениями

Таблица - Техничко-экономическое обоснование подбора конструктивного решения фундаментов из свай с уширениями

	Наименование конструкции сваи и тип уширения	Объём 1 шт/ объём свайного поля	Несущ. способность 1 сваи	Кол-во свай в свайном поле, шт	Сметная стоимость возведения, Р	Экономическая эффективность по сравнению со сваями без уширения, Р (%)
	1	2			3	4
1	Свая с поверхностными уширениями в виде клиньев	0,65 / 42,25	90 т	65	1048857	540368 (51%)
2	Свая буронабивная с концевым уширением из втрамбованного щебня	1,424 / 95,4	90 т	67	969189	108643 (11%)
3	Свая с клиньями вверху и концевым уширением из втрамбованного щебня	1,07 / 53,5	130 т	50	1206165	383060 (32%)
4	Свая призматическая	0,63 / 63	58,8 т	100	1589225	-
5	Свая буронабивная	1,2 / 120	46 т	100	1077832	-

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1) Проведён анализ результатов экспериментальных и теоретических исследований конструкций фундаментов из свай с уширениями, опубликованных в научной литературе и нормативной документации, который показал, что практика применения свай с уширениями была редким явлением. Научные исследования касались только отдельных форм концевых уширений, без учёта многообразия конструктивных решений и технологии устройства, работы группы свай, видов статических и динамических воздействий, что не позволяло принимать оптимальное конструктивное решение. Отсутствие научно-обоснованной методологии проектирования негативно влияет на материалоемкость и экономичность таких решений, сдерживает широкое внедрение в практику строительства эффективных конструкций свай с концевыми и поверхностными уширениями. При этом вид и форма уширения, закономерности их взаимодействия с окологрунтовым массивом в значительной степени зависят от технологии устройства.

2) Проведены лабораторные, натурные и численные исследования работы свай с концевыми и (или) поверхностными уширениями для выявления особенностей взаимодействия их с окологрунтовым основанием. Лабораторные и натурные исследования одиночных свай с уширениями и их групп, выполненные разбуриванием, вдавливанием, раскатыванием грунта, физико-химическим инъецированием, термическим обжигом, глубинным втрамбовыванием щебня, показали повышение несущей способности в 1,5 - 3 раза и снижение осадки до 4 - 6 раз и более по сравнению с обычными призматическими сваями в одинаковых грунтовых условиях. Экспериментально подтверждено, что уширения в поперечном сечении приобретают форму - усечённого конуса, эллипсоида, сферы, полусферы или цилиндра, в зависимости от технологии изготовления и применяемых строительных материалов.

3) Выполнены численные исследования напряжённо-деформированного состояния свай с концевыми и (или) поверхностными уширениями при статических и динамических воздействиях; выявлено, что необходимо учитывать зону уплотнения грунта вокруг уширения, полученного набивным способом; что учитывается в расчётной схеме конечно-элементной областью толщиной не менее $1,5 - 2 d_{\text{уш}}$ такого же формообразования. В кустах свай с уширениями нагрузка на угловые сваи составляет 110% несущей способности, усреднённой на одну сваю куста, а на средние сваи крайних рядов - 80%; распределение несущей способности осуществлялось для угловых свай - от 21% до 11,6%; для крайних боковых - от 13,2% до 17,6 % и центральных свай - от 3,2% до 10,6%.

4) Построены расчётные схемы взаимодействия свай с концевыми и (или) поверхностными уширениями с окологрунтовым основанием при статических воздействиях. Выявлено, что для расчётных схем из свай: с поверхностными уширениями может изменяться от 0 до $3d_{\text{уш}} - 4d_{\text{уш}}$; при расстоянии между поверхностными уширениями равно нулю, работа плиты

полностью заменяется работой верхних граней поверхностных уширений высотой до $1/4 - 1/6$ от длины свай, что позволит сократить расходы на устройство фундамента за счет исключения из него плиты; из свай с концевыми уширениями величина a_1 (расстояние между уширениями) может изменяться от 0 до $6d_{уш}$, при расстоянии между концевыми уширениями равно нулю работа куста может быть представлена как работа коробчатого фундамента. Определено, что с увеличением шага свай с уширениями, увеличивается и нагрузка, воспринимаемая плитой, так при шаге свай $3d_{уш}$ плита воспринимает 12 - 20% приложенной нагрузки, а при шаге $6d_{уш}$ - 25%.

5) Построены расчётные схемы взаимодействия свай с концевыми и (или) поверхностными уширениями с окологрунтовым основанием при динамических воздействиях. Выявлено, что длина закрепления в твердом слое длиной свай с концевым уширением, не поддающимся разжижению, в 3-6 раз должна превышать её диаметр, а основная нагрузка передаётся через уширение, то есть через увеличившуюся площадь опирания, даже при потере бокового трения уширение обеспечивает надёжную опору. Доказано, что при дискретизации модели при изломе длинных свай в кусте с концевыми уширениями под углом 45° (частный случай), максимальная кривизна свай с уширениями достигает предельной кривизны ϕ_u в уровне ниже $2/3$ от длины свай, $1/2$ и в уровне $1/3$ от длины свай у левой боковой, центральной и правой боковой свай, соответственно.

6) Разработаны методики расчета свайных фундаментов с концевыми и поверхностными уширениями в условиях статических и динамических (в том числе сейсмических) воздействий: методика деформационного расчёта коротких и длинных свай в линейно-деформируемом основании с учётом сдвига; методика расчёта на статические и динамические, в том числе сейсмические воздействия, основанная на свойствах изображений Фурье финитных функций с кусочно-постоянными и переменными функциями; методика определения осадки одиночных свай с концевыми сферическими и цилиндрическими уширениями; методика определения осадок кустов свай с уширениями; методика определения реактивных силовых факторов в однослойном основании.

7) Выявлены особенности работы фундамента из группы свай с уширениями на статические и динамические воздействия: при расчёте напряжённо-деформированного состояния необходимо в отличие от классической методики для обычных свай, учитывать шесть активных зон; первая зона - внутри фундамента, наружная граница которой проходит по внутренней боковой поверхности свай крайнего ряда плотность увеличивается не менее, чем на 50%, что в 2,3 раза больше, чем для свайных кустов из призматических свай, а удельное сцепление - почти в 4 раза, во второй зоне плотность, увеличилась на 38%, а удельное сцепление - в 3 раза, в третьей и четвёртой зонах - в околосвайном пространстве с радиусами $2-3d_{уш}$ и $5-7d_{уш}$ плотность увеличилась

соответственно на 28% и 15%, а удельное сцепление - в 1,5 раза, в пятой и шестой зонах - плотность увеличивалась менее, чем на 15%.

8) Разработаны определяющие принципы конструирования и технологии устройства свай с уширениями, которые включают комплекс инженерных, геотехнических и технологических решений, направленных на повышение несущей способности, устойчивости и долговечности свайных фундаментов. На основе принципов теории формообразования свайных фундаментов с уширениями были сгенерированы новые конструктивно-технологические решения фундаментов из свай с уширениями с получением патентов. Составлена расширенная классификация конструкций свай с уширениями, учитывающая материал уширения для конкретных условий грунтового основания, современные технологии их устройства с разделением на конструкции готового, набивного или комбинированного типа и расположением уширений относительно тела ствола сваи сверху, на стволе, на нижнем конце и с несколькими уширениями.

9) Разработана научно-обоснованная методология проектирования эффективных конструкций и технологии устройства фундаментов из свай с концевыми и (или) поверхностными уширениями на слабых, структурно-неустойчивых грунтах при статических и динамических воздействиях, базирующаяся на основных принципах формообразования конструктивных решений свайных фундаментов, включающая шесть этапов для свай с уширениями на поверхности, на конце, на стволе (одиночные) и с несколькими (многоместными) уширениями готового и набивного типа: сбор исходных данных согласно СП; определение схем приложения нагрузок (статические, динамические, сейсмические, выдёргивающие, комбинация нескольких видов); выбор местоположения и количества уширений на теле сваи в зависимости от физико-механических свойств грунтового основания при статических нагрузках и физических при динамических воздействиях; выбор материала, технологии устройства уширений свай; выбор формы для формирования расчётных схем и оценку наиболее эффективного варианта в результате выбранных методов расчёта.

10) Перспективы дальнейших исследований в области расчета и конструирования фундаментов из свай с уширениями будут направлены на разработку методики деформационного расчёта свай с одно - и многоместными уширениями на действие статических и динамических нагрузок, а также оценку их работы в условиях арктической зоны и других грунтовых условий.

СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

а) в рецензируемых научных изданиях:

1. Федоров, В. С. Конструктивные решения свайных фундаментов с концевыми и поверхностными уширениями для структурно-неустойчивых оснований / В. С. Федоров, Н. В. Купчикова // Вестник гражданских инженеров. 2011. – № 1(26). – С. 88-90.
2. Сапожников, А. И. Особенности работы балок на упругом основании / А. И. Сапожников, С. М. Григорьев, Н. В. Купчикова // Известия высших учебных заведений. Строительство. – 2011. – № 10(634). – С. 99-107.
3. Купчикова, Н. В. Деформационный расчет свай, усиленных цементацией грунта под ее нижним концом при вертикальном и горизонтальном нагружении / Н. В. Купчикова // Строительство и реконструкция. – 2011. – № 4(36). – С. 29-33.
4. Купчикова, Н. В. Методика расчета свай с уширениями, основанная на свойствах изображений Фурье финитных функций / Н. В. Купчикова // Промышленное и гражданское строительство. – 2012. – № 8. – С. 24-26.
5. Купчикова, Н. В. Определение коэффициента постели по деформации свободного конца свай с использованием методики дискретного преобразования Фурье / Н. В. Купчикова // Вестник Саратовского государственного технического университета. – 2013. – Т. 4, № 1(73). – С. 206-209.
6. Купчикова, Н. В. Снижение осадки фундамента путем послойного поверхностного и глубинного уплотнения грунта со щебнем под нижним концом буронабивных свай / Н. В. Купчикова // Строительство и реконструкция. – 2013. № 2(46). – С. 41-45.
7. Купчикова, Н. В. Численные исследования работы системы «свайное основание-усиливающие элементы» методом конечных элементов / Н.В. Купчикова // Строительство и реконструкция. – 2013. – № 6(50). – С. 28-35.
8. Купчикова, Н. В. Учет сдвиговых деформаций свайных фундаментов с усиливающими элементами / Н. В. Купчикова // Строительная механика и расчет сооружений. – 2014. – № 3(254). – С. 17-22.
9. Купчикова, Н. В. Технологическая эффективность применения свай с поверхностными уширениями в зависимости от изменения геометрии сборных клиньев в просадочных грунтах / Н. В. Купчикова // Промышленное и гражданское строительство. – 2014. – № 6. – С. 40-43.
10. Купчикова, Н. В. Особенности берегоукрепления набережной реки Волги свайными оболочками, каменной наброской и строительства на намывных грунтах вдоль береговой зоны / Н. В. Купчикова // Промышленное и гражданское строительство. – 2014. – № 6. – С. 36-39.
11. Купчикова, Н. В. Экспериментальные исследования по закреплению слабых грунтов под фундаментами физико-химическими методами с применением добавок-пластификаторов / Н. В. Купчикова // Вестник гражданских инженеров. – 2014. – № 3(44). – С. 123-132.
12. Купчикова, Н. В. Формообразование концевых уширений свай в поперечном сечении и методика их деформационного расчета / Н. В. Купчикова // Вестник гражданских инженеров. – 2015. – № 1(48). – С. 88-96.

13. Купчикова, Н. В. Аналитический метод определения перемещений свайных фундаментов с уширениями вверху на горизонтальное статическое воздействие / Н. В. Купчикова // Строительство и реконструкция. – 2015. № 1(57). – С. 33-39.
14. Купчикова, Н. В. Предложения по дополнению классификации конструкций готовых и набивных свай с поверхностными уширениями и наклонными боковыми сваями / Н. В. Купчикова // Строительство и реконструкция. – 2015. – № 4(60). – С. 32-41.
15. Купчикова, Н. В. Экспериментальные исследования и численный анализ деформационно-прочностных характеристик буронабивных микросвай с уширенной пятой из щебня / В. С. Алехин, Н. В. Купчикова // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2016. – Т. 43, № 4. – С. 123-132.
16. Купчикова, Н. В. Системный подход в концепции формообразования свайных фундаментов с уширениями / Н. В. Купчикова // Вестник МГСУ. – 2017. – Т. 12, № 12(111). – С. 1361-1368.
17. Курбацкий, Е. Н. Способы устройства тоннелей из опускных секций при строительстве на донных структурно-неустойчивых грунтах / Е. Н. Курбацкий, Н. В. Купчикова // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2017. – Т. 44, № 2. – С. 173-183.
18. Купчикова, Н. В. Экспериментальные исследования группы свай с поверхностными уширениями в виде ступеней / Н. В. Купчикова // Строительство и реконструкция. – 2018. – № 1(75). – С. 45-54.
19. Kupchikova, N. V. Numerical researches of the work of the pile with end spherical broadening as part of the pile group / N. V. Kupchikova // Building and Reconstruction. – 2019. – No. 6(86). – P. 3-9.
20. Федоров, В. С. Численные исследования работы сваи с концевым сферическим уширением в составе группы свай / В. С. Федоров, Н. В. Купчикова, М. Д. Гавриков // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2019. № 3(29). – С. 100-107.
21. Купчикова, Н. В. Исследование влияния вибрационных воздействий от автотранспорта на состояние конструкций фундамента жилого здания / Т. В. Золина, Н. В. Купчикова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2019. – № 3(29). – С. 24-29.
22. Купчикова, Н. В. Формообразование концевых уширений буронабивных свай с учётом экспериментально-аналитического и численного исследования / Н. В. Купчикова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2019. № 4(30). – С. 93-98.
23. Купчикова, Н. В. Экспериментальные исследования с ложными ограничениями при разработке способа возведения инъекционных свай / Н. В. Купчикова, Р. И. Шаяхмедов // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2020. – № 3(33). – С. 58-62.
24. Купчикова, Н. В. Экспертиза геоподосновы, оснований и фундаментов глубокого заложения: региональные особенности учёта и оценки деформаций при эксплуатации / Н. В. Купчикова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2020. – № 3(33). – С. 63-68.
25. Купчикова, Н. В. Экспертиза геоподосновы и свайных фундаментов объектов незавершённого строительства / Н. В. Купчикова, Е. В. Гурова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2020. – № 4(34). – С. 73-78.
26. Мониторинг разрушения и обмеления водных объектов, берегоукрепительных сооружений в дельте реки Волги в рамках программы «Экология безопасного строительства» / Т. В. Золина, С. П. Стрелков, Н. В. Купчикова [и др.] // Вестник Дагестанского государственного технического университета. Технические науки. – 2020. – Т. 47, № 4. – С. 132-140.

27. Kupchikova, N. V. New structural and technological solutions for foundations of submerged underwater tunnels / N. V. Kupchikova // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2021. – № 1(35). – Р. 12-15.
28. Купчикова, Н. В. Результаты численного анализа системы «здание свайный фундамент - грунтовое основание» с помощью MIDAS GTS NX/ Н. В. Купчикова, А. Н. Сычков // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2021. – № 1(35). – С. 19-24.
29. Купчикова, Н. В. О факторах, влияющих на надёжность свайных фундаментов с уширениями / Н. В. Купчикова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2021. – № 3(37). – С. 54-61.
30. Купчикова, Н. В. Экспертиза геоподосновы, оснований и фундаментов: современные приборы и оборудование при проведении экспериментальных исследований и геотехнического мониторинга / Н. В. Купчикова, А. С. Таркин // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2021. – № 4(38). – С. 47-55.
31. Купчикова, Н. В. Концепция управления экспертизой геоподосновы, оснований и фундаментов на всех стадиях жизненного цикла / Н. В. Купчикова, А. С. Таркин, Е. Е. Купчиков // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2022. – № 1(39). – С. 101-104.
32. Купчикова, Н. В. Свайные фундаменты с несколькими уширениями для слабых и структурно неустойчивых оснований. Часть 1 / Н. В. Купчикова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2023. – № 4(46). – С. 81-86.
33. Фильтрационная устойчивость грунтовых перемычек плотин как временных гидротехнических сооружений / В. С. Федоров, Н. В. Купчикова, С. С. Рекунов, И. В. Федосюк // Строительство и реконструкция. – 2024. № 5(115). – С. 44-60.
34. Федоров, В. С. Об организации опытно-экспериментальной работы в ходе исследования влияния комплексности вибровоздействий наземного и подземного транспорта на здания и сооружения / В. С. Федоров, Н. В. Купчикова, Ю. В. Лазуткин // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2024. – № 1(47). – С. 95-100.
35. Купчикова, Н. В. Упрочнение слабого подстилающего слоя грунтового основания свайно-плитного фундамента из буронабивных свай / Н. В. Купчикова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: - 2024. № 4 (50). С. 77–87.
36. Рекунов, С. С. Численное моделирование фильтрационной устойчивости грунтовых перемычек плотин / С. С. Рекунов, Н. В. Купчикова, И. В. Федосюк // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2024. – № 3(49). – С. 65-73.
37. Купчикова, Н. В. Численный анализ обеспечения устойчивости насыпей при реконструкции транспортной инфраструктуры / Н. В. Купчикова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2024. – № 4(50). – С. 70-77.
38. Рекунов, С. С. Конструктивно-технологические решения перемычек временных гидротехнических сооружений и их сопряжения с грунтовым основанием / С. С. Рекунов, Н. В. Купчикова, А. А. Чураков // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2024. – № 3(49). – С. 31-39.

б) патенты:

39. Патент № 2730607 С1 Российская Федерация, МПК E02В 3/02, E02В 3/06. *Подвижная берегозащитная свая-шпора*: № 2020107423: заявл. 18.02.2020: опубл. 24.08.2020 / Н. В. Купчикова, Р. И. Шаяхмедов, Т. В. Золина; заявитель ГАОУ ВО АГАСУ.

40. Патент № 2678251 С2 Российская Федерация, МПК E02D 5/56. *Способ создания уширения на конце винтовой сваи*: № 2017125665: заявл. 17.07.2017: опубл. 24.01.2019 / Н. В. Купчикова, Р. И. Шаяхмедов, А. Д. Антипова; заявитель ГАОУ ВО АГАСУ.
41. Патент № 2645015 С2 Российская Федерация, МПК E02D 5/44. *Способ создания общего уширения для группы свай*: № 2016128634: заявл. 13.07.2016: опубл. 15.02.2018 / Н. В. Купчикова, Р. И. Шаяхмедов, А. Д. Антипова; заявитель ГАОУ ВО АГАСУ.
42. Патент № 2651655 С2 Российская Федерация, МПК E02D 5/44. *Способ создания уширения на конце сваи*: № 2016119073: заявл. 17.05.2016: опубл. 23.04.2018 / А. Д. Антипова, Н. В. Купчикова, Р. И. Шаяхмедов; заявитель ГАОУ ВО АГАСУ.

в) в научных изданиях базы цитирования Scopus, Web of Science:

43. Kupchikova, N. Modeling of seismic load and assessment of its impact on the building frame and foundations of deep laying of bridge supports / T. Zolina, N. Kupchikova // E3S Web of Conferences. – 2024. – Vol. 533. – P. 02014.
44. Zolina, T. V. The Expertise of Geo-Base, Foundations, and Deep Foundations: Regional Features of Accounting and Assessment of Deformations During Operation / T. V. Zolina, N. V. Kupchikova, S. P. Strelkov // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering; International Science and Technology Conference (FarEastCon 2020) 6th-9th October 2020, Russky Island, Russia, Vladivostok, 28 января 2021 года. Vol. 1079. – Vladivostok: IOP Publishing, 2021. – P. 052037.
45. Monitoring of the collapse of the shores of reservoirs and the technology of their surface and deep fixing / T. Zolina, S. Strelkov, N. Kupchikova, K. Kondrashin // E3S Web of Conferences: Key Trends in Transportation Innovation, KTTI 2019, Khabarovsk, 24–26 октября 2019 года. Vol. 157. – Khabarovsk: EDP Sciences, 2020. – P. 02011.
46. Zolina, T. Kupchikova, N. Influence of vibration impacts from vehicles on the state of the foundation structure of a residential building / T. Zolina, N. Kupchikova // E3S Web of Conferences: Innovative Technologies in Environmental Science and Education, ITESE 2019, Divnomorskoe Village, 09–14 сентября 2019 года. Vol. 135. – Divnomorskoe Village: EDP Sciences, 2019. – P. 03053.
47. Kupchikova, N. Determination of pressure in the near-ground space pile terminated and broadening of the surface / N. Kupchikova // MATEC Web of Conferences, Moscow, 14–16 ноября 2018 года. Vol. 251. – Moscow: EDP Sciences, 2018. – P. 04062.
48. Kupchikova, N. V. Analytical Method Used to Calculate Pile Foundations with the Widening Up on a Horizontal Static Impact / N. V. Kupchikova, E. N. Kurbatskiy // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, Chelyabinsk, 21–22 сентября 2017 года. Vol. 262. – Chelyabinsk: Institute of Physics Publishing, 2017. – P. 012102.

г) монографии:

49. Новые конструкции и технологии при реконструкции и строительстве зданий и сооружений / Д. П. Ануфриев, Т. В. Золина, Н. В. Купчикова [и др.]. Москва: Издательство АСВ, 2013. – 208 с.

50. Новые строительные материалы и изделия: региональные особенности производства / Д. П. Ануфриев, Н. В. Купчикова, Н. А. Страхова [и др.]. Москва: Издательство АСВ, 2014. – 200 с

51. Проектирование строительных конструкций и оснований с учётом надёжности и режимных воздействий / В. С. Федоров, Т. В. Золина, Н. В. Купчикова [и др.]. – Астрахань: 2021. – 209 с.

52. Проектирование строительных конструкций и оснований с учётом надёжности и режимных воздействий (дополненное издание). / В. С. Федоров, Т. В. Золина, Н. В. Купчикова [и др.]. – Астрахань: 2022. – 220с.

д) в других изданиях и материалах конференций:

53. Купчикова, Н. В. Разработка оптимальных способов термического закрепления грунтов при устройстве свайных фундаментов при слабых грунтах / Н. В. Купчикова, Кейль Н.В. // Сб. Межд. конф. «Инновационные технологии в управлении, образовании, промышленности «АСТИНТЕХ-2011». Астрахань, АИСИ, 2011. – С. 119-122.

54. Курбацкий, Е. Н. Методика расчёта балок с кусочно-постоянными параметрами, основанная на свойствах изображений Фурье финитных функций / Е. Н. Курбацкий, Л. Т. Сан, Н. В. Купчикова // Научный потенциал регионов на службу модернизации. – 2011. – № 1(1). – С. 53-58.

55. Купчикова, Н. В. Об эффективности послойного уплотнения грунта щебнем в котловане и под нижним концом буронабивных свай / Н. В. Купчикова // Научное издание «Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании» ФГБОУ ВПО «МГСУ» Москва 2012г., с.403-409.

56. Купчикова, Н. В. Разработка технологической линии по производству огнеупорного наконечника на нижний конец свай для термического обжига грунта / Н. В. Купчикова, Кейль Н.В., Береснева Е.А. // Сборник Всероссийской молодежной конф. «Инновации и технологии Прикаспия. Исследования молодых ученых – вклад в инновационное развитие России». Том 2, 10-13 октября 2012г. Астрахань, с. 155-156.

57. Курбацкий, Е. Н. Определение коэффициента постели по деформации свободного конца свай с помощью дифференциальных уравнений в обобщенных функциях / Е. Н. Курбацкий, Н. В. Купчикова // Перспективы развития строительного комплекса. – 2012. – Т. 2. – С. 47-49.

58. Купчикова, Н. В. Эффективность работы установки для вдавливания клиньев при возведении свайного фундамента с поверхностными уширениями для гидрогеологических условий Астраханской области / Н. В. Купчикова, Сейтвелиева А.С.// Сборник Всероссийской молодежной конференции «Инновации и технологии Прикаспия. Исследования молодых ученых – вклад в инновационное развитие России». Том 2, доклады программы «УМНИК» 10-13 октября 2012г. Астрахань, с. 222-224.

59. Купчикова, Н. В. Установка для одновременного погружения группы микросвай и устройства концевых уширений / Я. С. Чудаков, Н. В. Купчикова // Исследования молодых ученых - вклад в инновационное развитие России: "Участник молодежного научно-инновационного конкурса" ("У.М.Н.И.К."), Астрахань, 02–04 октября 2013 года. – С. 134-136.

60. Купчикова, Н. В. Разработка технологической линии по производству огнеупорного наконечника на нижний конец свай для термического обжига грунта / А. А. Хасанова, Н. В. Купчикова // Исследования молодых ученых - вклад в инновационное развитие России: "Участник молодежного научно-инновационного конкурса" ("У.М.Н.И.К."), Астрахань, 02–04 октября 2013 года. С. 88-89.

61. Купчикова, Н. В. Анализ работы базовой модели свай и свай с совместными уширениями на верху и на конце при горизонтальном нагружении в линейно-деформируемом основании с учетом сдвига / Н. В. Купчикова // Научный потенциал регионов на службу модернизации. – 2013. – Т. 1, № 3(6). С. 20-24.

62. Купчикова, Н. В. Установка для вдавливания клиньев при возведении свайного фундамента с поверхностными уширениями для гидрогеологических условий Астраханской области /

Н. В. Купчикова, Сейтвелиева А.С.// Материалы II межд. науч. форума молодых ученых, студентов и школьников «Потенциал интеллектуально одаренной молодежи- развитию науки и образования» 20-24 мая 2013г. Астрахань, с. 137-139.

63. Купчикова, Н. В. Исследование прочности грунтового массива, закрепленного нагнетанием различных маловязких химических растворов / Н. В. Купчикова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2014. – № 1(7). – С. 57-65.

64. Купчикова, Н. В. Химическое закрепление грунтов с помощью маловязких растворов / Н. В. Купчикова, В. В. Инчикова // Известия Кыргызского государственного технического университета им. И. Раззакова, - №31, г. Бишкек, 2014г. - С. 373-377.

65. Купчикова, Н. В. Влияние способов фундирования на несущую способность готовых свай / Н. В. Купчикова, С. В. Плужникова // Перспективы развития строительного комплекса. – 2014. – Т. 1. – С. 286-296.

66. Купчикова, Н. В. Перспектива применения конструкций свай с наклонными боковыми гранями и углами сбега в строительстве / Н. В. Купчикова // Перспективы развития строительного комплекса. – 2014. – Т. 1. – С. 324-329.

67. Купчикова, Н. В. Техничко-экономические особенности берегоукрепления набережной р. Волги сваями-оболочками, каменной наброской и строительства на намывных грунтах вдоль береговой зоны / Н. В. Купчикова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2014. – № 1(7). – С. 88-94.

68. Купчикова, Н. В. Об эффективности применения добавок-пластификаторов в растворах для инъецирования слабых грунтов под нижним концом свай / Н. В. Купчикова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2014. – № 2(8). – С. 33-38.

69. Купчикова, Н. В. Особенности генерации конечно-элементных сеток для расчета сложных конструкций свайных фундаментов с уширениями в пространственной постановке / Н. В. Купчикова // Строительство, формирование среды жизнедеятельности: Сб. трудов 180й Межд. науч.-практ. конф. студентов, магистрантов, аспирантов и молодых ученых, Москва, 22–24 апреля 2015 года. – Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2015. – С. 359-362.

70. Курбацкий, Е. Н. Преимущества тоннелей из опускных секций транспортных переходов и особенности их сооружения через протяженные речные и морские преграды, сложенные на дне слабыми грунтами / Е. Н. Курбацкий, Н. В. Купчикова, А. С. Сеницын // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2015. – № 1(11). – С. 41-50.

71. Купчикова, Н. В. Разработка эффективных технологических решений по армированию оснований геосинтетическими материалами со щебнем и закреплению химическими составами при строительстве и реконструкции автодорог / В. В. Инчикова, Н. В. Купчикова // Исследования молодых ученых вклад в инновационное развитие России: Доклады молодых ученых в рамках программы «Участник молодежного научно-инновационного конкурса» («УМНИК»), Астрахань, 13–15 мая 2015 года / сост. М.В. Лозовская, А.Г. Баделин. – Астрахань: Нижневолжский экоцентр, 2015. – С. 107-109.

72. Купчикова, Н. В. Сравнительный анализ эффективности работы ступенчатых и призматических свай в песках и суглинках / Н. В. Купчикова, А. С. Сеницын // Перспективы развития строительного комплекса. – 2015. – № 1. С. 208-215.

73. Купчикова, Н. В. Исследование взаимодействия различных видов конструкций свай с поверхностными уширениями и грунта / Н. В. Купчикова // Интеграция, партнерство и инновации в строительной науке и образовании: Сб. материалов Межд. научн. конф., Москва, 12–13 ноября 2014 года / Ответственные редакторы: Т.И. Квитка, И.П. Молчанова. – Москва: Национальный исследовательский Московский государственный строительный университет, 2015. – С. 647-651.

74. Купчикова, Н. В. Результаты штамповых испытаний и статического зондирования намывных грунтов при берегоукреплении реки Волга / Н. В. Купчикова, С. В. Степанова // Инвестиции, строительство и недвижимость как материальный базис модернизации и инновационного развития экономики: Материалы 5ой Всеросс. научн.-практ. конф. с межд. участием: в 2 частях, Томск, 10–13 марта 2015 года: Томский государственный архитектурно-строительный университет, 2015. С. 318-324.

75. Купчикова, Н. В. Предложения по дополнению классификации конструкций готовых и набивных свай с уширениями вверх и наклонными боковыми сваями / Н. В. Купчикова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2015. – № 1(11). – С. 25-35.
76. Купчикова, Н. В. Методика деформационного расчета свай с концевыми уширениями в теории фоормообразования усиливающих элементов / Н. В. Купчикова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2015. №2(12). – С. 32-39.
77. Купчикова, Н. В. Спектрально-временной анализ в исследовании сплошности конструкций фундаментов / Н. В. Купчикова, Г. Г. Иванов, А. С. Синицин // Потенциал интеллектуально одаренной молодежи - развитию науки и образования: Материалы V Межд. научн форума молодых ученых, студентов и школьников, Астрахань, 26–29 апреля 2016 года – С. 403-407.
78. Купчикова, Н. В. Анализ деформационно-прочностных характеристик буронабивных микросвай с концевым уширением из щебня / Н. В. Купчикова, В. С. Алехин // Перспективы развития строительного комплекса. – 2017. – № 1. С. 158-162.
79. Купчикова, Н. В. Особенности конструктивных решений фундаментов для уменьшения разрушительных эффектов землетрясений / Н. В. Купчикова, И. Я. Алтунов // Перспективы развития науки и образования: Сборник научных трудов по материалам XXIV международной научно-практической конференции, Москва, 28 декабря 2017 года / Под общей редакцией А.В. Туголукова. – Москва: 2017. – С. 213-216.
80. Fedorov, V. S. Optimization in the management of investment and construction projects / V. S. Fedorov, N. V. Kupchikova // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. – 2018. – No. 3(25). – P. 14-17.
81. Купчикова, Н. В. Определение зон уплотнения грунтов аналитическим методом вокруг свайных кустов в зависимости от шага, диаметра и длины свай / Н. В. Купчикова, А. С. Азаров, Е. Е. Купчиков // Перспективы развития строительного комплекса. – 2018. – № 12. – С. 163-169.
82. Купчикова, Н. В. Эволюция технологии устройства буронабивных свайных фундаментов с уширениями / Н. В. Купчикова, А. О. Максимов, Д. В. Зинченко // Инновационное развитие регионов: потенциал науки и современного образования: материалы Национальной научн.-практ. конф., Астрахань, 09 февраля 2018 года. Том 1. – С. 113-121.
83. Купчикова, Н. В. Определение допустимой нагрузки на сваи с поверхностными уширениями в зависимости от технологии погружения / Н.В. Купчикова, Е. Е. Купчиков // Потенциал интеллектуально одаренной молодежи - развитию науки и образования: Материалы VII Межд. Науч. форума молодых ученых, инноваторов, студентов и школьников, Астрахань, 07–08 мая 2018 года – С. 79-83.
84. Купчикова, Н. В. Эффективность закрепления грунтовых массивов под нижним концом свайных фундаментов и вокруг глубоких котлованов / Н. В. Купчикова, Ю. А. Готман // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2019. – № 1(27). – С. 13-26.
85. Федоров, В. С. Технологии устройства концевых уширений набивных и готовых свай и их влияние на формообразование конструкций фундамента / В. С. Федоров, Н. В. Купчикова // Инженерно-строительный вестник Прикаспия. 2019. – № 1(27). – С. 40-56.
86. Fedorov, V. S. Numerical researches of the work of the pile with end spherical broadening as part of the pile group / V. S. Fedorov, N. V. Kupchikova // Перспективы развития строительного комплекса: Материалы XIII Международной научно-практической конференции профессорско-преподавательского состава, молодых ученых и студентов, Астрахань, 29–31 октября 2019 года / Под общей редакцией В.А. Гутмана, Т.В. Золиной. Vol. 13. – Астрахань:2019. – P. 149-153.
87. Купчикова, Н. В. Подвижная берегозащитная свая-шпора / Н. В. Купчикова, Р. И. Шаяхмедов, Т. В. Золина // Строительство: новые технологии - новое оборудование. – 2021. – № 2. – С. 63-66.
88. Купчикова, Н. В. Экспертиза геоподосновы, оснований и фундаментов с применением современных приборов контроля при возведении и эксплуатации многофункционального жилого комплекса, расположенного по адресу: г. Астрахань, Трусовский район, ул. Колесниковой, 18/ Н. В. Купчикова, А. С. Таркин// Научный потенциал организационно-управленческого инжиниринга в реализации инвестиционно-строительного и коммунального комплекса : Материалы XXIX Международной научно-практической конференции, Астрахань, 27–28 апреля 2021 года. – Астрахань: 2021. – С. 36-42.

89. Золина, Т. В. Исследование напряженно-деформированного состояния береговых зон и результаты внедрения новых технологий их закрепления на территории Астраханской области / Т. В. Золина, Н. В. Купчикова // Перспективы развития строительного комплекса: Материалы XV Межд. научн. практ. конф. ппс, молодых ученых и студентов, Астрахань, 19–20 октября 2021 года. Том 15. – С. 288-294.

90. Купчикова, Н. В. Особенности моделирования, расчета и анализа системы «здание-фундамент-грунтовое основание» в пространственной постановке с помощью ПК MIDAS GTS NX / Н. В. Купчикова, В. В. Куликов // Инновационное развитие регионов: потенциал науки и современного образования: Материалы IV Национальной научн.-практ. конф., Астрахань, 08 февраля 2021 года – С. 335-338.

91. Купчикова, Н. В. Создание уширения на конце группы свай как способ повышения надежности свайного фундамента / Н. В. Купчикова, Р. И. Шаяхмедов, С. С. Евсеева // Перспективы развития строительного комплекса: Материалы XVI Межд. научн.-практ. конф. ППС, молодых ученых и студентов, Астрахань, 27–28 октября 2022 года / – С. 333-336.

92. Золина, Т. В. Мониторинг состояния береговых зон и результаты внедрения новых технологий их закрепления на территории Астраханской области / Т. В. Золина, Н. В. Купчикова, Р. И. Шаяхмедов // Каспий и глобальные вызовы: Материалы Межд. научн.-практ. конф., Астрахань, 23–24 мая 2022 г. – С. 760-768.

93. Купчикова, Н. В. Термический способ создания уширения на конце свай / Н. В. Купчикова, Р. И. Шаяхмедов // Инновационное развитие регионов: потенциал науки и современного образования: Материалы VI Национальной научн.-практ. конф. с международным участием, приуроченной ко Дню российской науки, Астрахань, 08–09 февраля 2023 года – С. 118-121.

94. Купчикова, Н. В. Расчет свайных фундаментов с уширениями на динамические воздействия / Н. В. Купчикова // Современные методы проектирования, подземного строительства и реконструкции оснований и фундаментов (GFAC 2024): Сб. тезисов Национальной (всероссийской) научно-технической конференции с международным участием, 23–25 октября 2024 года. – Санкт-Петербург: 2024. – С. 49.

Купчикова Наталья Викторовна

СВАЙНЫЕ ФУНДАМЕНТЫ С УШИРЕНИЯМИ И МЕТОДОЛОГИЯ ИХ РАСЧЁТА

АВТОРЕФЕРАТ

Диссертации на соискание учёной степени
доктора технических наук

2.1.2 Основания и фундаменты, подземные сооружения

Подписано в печать 03.07.2025г.

Формат бумаги 60х90/16

Объем 3 усл. п.л.

Заказ - №

Тираж 100 экз.

127994, Россия, г. Москва, ул. Образцова, дом 9, стр. 9, РУТ (МИИТ)