

На правах рукописи



Шеменков Юрий Михайлович

**ОДНОСВАЙНЫЕ ФУНДАМЕНТЫ И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-
ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ИХ РАСЧЕТА
С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЗОНДИРОВАНИЯ**

Специальность 05.23.02 – «Основания и фундаменты, подземные сооружения»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
доктора технических наук

Уфа - 2003

Работа выполнена в Государственном унитарном предприятии «Научно-исследовательский, проектно-конструкторский и производственный институт строительного комплекса Республики Башкортостан» (БашНИИстрой, г. Уфа).

Научный консультант доктор технических наук,
ГОТМАН Альфред Леонидович.

Официальные оппоненты: доктор технических наук, профессор
БАРТОЛОМЕЙ Адольф Александрович;

доктор технических наук, профессор
БОГОМОЛОВ Александр Николаевич;

доктор технических наук,
старший научный сотрудник
РЫЖКОВ Игорь Борисович.

Ведущая организация ОАО «БАШСТРОЙ».

Защита состоится 31 октября 2003 года в 14-00 на заседании диссертационного совета Д 212.289.02 при Уфимском государственном нефтяном техническом университете по адресу: 450062, Республика Башкортостан, г.Уфа, ул.Космонавтов,1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке университета.

Автореферат разослан «___» сентября 2003 года.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Денисов О. Л.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность проблемы. Проблема рационального проектирования фундаментов является одной из актуальных в области фундаментостроения. Особенно остро эта проблема стоит при строительстве в сложных инженерно-геологических условиях, в которых наиболее целесообразным является применение свайных фундаментов. Доля затрат на возведение подземной части зданий и сооружений в таких грунтовых условиях составляет до 20%.

Развитие фундаментостроения направлено по пути разработки новых, экономичных и надежных конструкций фундаментов и методов их устройства, обеспечивающих повышение несущей способности грунтов в основаниях, более полного использования несущей способности материала фундаментов, совершенствования узла сопряжения колонн здания с фундаментами без дополнительных элементов, максимального сокращения объема опалубочных и земляных работ при отрывке и обратной засыпке котлована и т.п.

Среди конструкций свай полые круглые сваи и сваи-оболочки (сваи кольцевого сечения - СКС) относятся к рациональным свайным конструкциям, позволяющим наиболее полно использовать несущую способность основания и материала свай. Высокие технико-экономические показатели свай кольцевого сечения и индустриальность их изготовления методом центрифугирования предопределяют перспективность их применения.

В последние два-три десятилетия в фундаментостроении развивалось направление, в котором сочетались тенденции применения монолитного бетона и искусственно улучшенного основания. В рамках этого направления разработана технология возведения фундаментов путем предварительного уплотнения основания в виде вытрамбовки котлованов глубиной 2-4 м с вытрамбовыванием в основание котлована щебня и бетонирования в этом котловане фундамента. Такой фундамент получил название «фундамент в вытрамбованном котловане» (ФВК).

В связи с тем, что кустовые свайные фундаменты с ростверком обладают некоторыми существенными недостатками, представляет интерес эффективная и прогрессивная конструкция односвайного фундамента под колонны каркасных зданий и сооружений. Основные достоинства односвайного фундамента: отсутствие ростверка, минимальный объем земляных и опалубочных работ, возможность рационального армирования.

Достоверность расчета несущей способности фундаментов, а следовательно, и эффективность принятых и реализованных проектных решений фундаментов, имеет важное практическое значение. Однако в отечественной и зарубежной практике методика расчета односвайных фундаментов разработана недостаточно. Это объясняется отсутствием в настоящее время комплексных экспериментальных исследований взаимодействия грунта и односвайных фундаментов. Имеющиеся методы определения несущей способности и осадок, рекомендуемые нормативными документами, дают результаты, которые значительно расходятся с

экспериментальными данными.

При проектировании фундаментов зданий и сооружений часто возникает необходимость расчета на горизонтальные нагрузки. Такие конструкции, как свайные опоры под технологическое оборудование и трубопроводы, одиночные опоры стоечного типа и др., по условиям своей работы требуют точного расчета на действие горизонтальных нагрузок.

В связи с этим необходима разработка новых методов расчета односвайных фундаментов из СКС и ФВК, которые наиболее точно отражали бы сложное напряженное состояние грунтового основания. Экспериментально-теоретические исследования изменения несущей способности и развития осадок односвайных фундаментов лежат в основе разработки указанных методов и поэтому являются достаточно актуальными и необходимыми. Использование таких методов при проектировании односвайных фундаментов из СКС и ФВК будет иметь большое научное и народно-хозяйственное значение.

Цель диссертационной работы заключалась в разработке на основе экспериментально-теоретических исследований односвайных фундаментов из свай кольцевого сечения и в вытрамбованных котлованах методов их расчета с использованием статического зондирования и внедрении полученных результатов в практику строительства.

Для достижения поставленной цели были сформулированы и решены следующие задачи:

1. На основе технико-экономического анализа показать эффективность конструкций односвайных фундаментов из свай кольцевого сечения в области забивных свай и фундаментов в вытрамбованных котлованах в области монолитных конструкций фундаментов.

2. Провести комплексные экспериментальные исследования взаимодействия грунта с односвайными конструкциями фундаментов при действии вертикальных и горизонтальных нагрузок в различных грунтовых условиях, а именно:

а) определить предельное сопротивление натуральных односвайных фундаментов по данным статических испытаний;

б) выявить характер изменения зависимости «нагрузка-осадка» для односвайных фундаментов при действии вертикальной нагрузки;

в) экспериментально выявить закономерности формирования сопротивления отдельных элементов (поэлементное испытание) при действии вертикальной нагрузки и определить критерии достижения предельного состояния;

г) в глинистых грунтах экспериментально исследовать напряженно-деформированное состояние натуральных односвайных фундаментов при действии вертикальной и горизонтальной нагрузок, в том числе при совместном их действии, выявить факторы, обуславливающие формирование сопротивления вертикальной и горизонтальной нагрузкам, и определить критерии предельного состояния системы «фундамент-основание» с последующим выбором модели

основания и построением расчетных схем;

д) экспериментально выявить механизм работы односвайных фундаментов по "жесткой" и "гибкой" схемам и разработать методику учета влияния нелинейности деформирования основания при расчетах на горизонтальную нагрузку;

е) определить закономерности распределения напряжений и деформаций грунта в активной зоне основания фундамента.

3. На базе экспериментально полученных основных закономерностей взаимодействия грунта с односвайными фундаментами разработать методику расчета несущей способности односвайных фундаментов на действие вертикальной и горизонтальной нагрузок с использованием данных статического зондирования грунтов.

4. Выполнить анализ напряженно-деформированного состояния грунтов в основании односвайных фундаментов с применением численных методов расчета.

5. На основе экспериментально полученных основных закономерностей взаимодействия грунта с односвайными фундаментами разработать аналитические методы расчета осадок односвайных фундаментов в глинистых грунтах.

6. Разработать методику контроля несущей способности фундаментов в вытрамбованных котлованах в ходе производства работ по вытрамбовке котлованов.

7. Разработать рекомендации по проектированию односвайных фундаментов, в том числе с использованием ЭВМ.

8. Осуществить внедрение результатов исследований в практику проектирования и строительства.

Методы и достоверность исследований. Результаты, основные выводы и рекомендации, приведенные в диссертационной работе, базируются на основных положениях механики грунтов, теории упругости и пластичности и подтверждены результатами наблюдений за работой односвайных фундаментов в натуральных условиях. В экспериментах использовалась современная электронная аппаратура, тензометрические приборы и оборудование для статического зондирования грунта. Методики экспериментальных и теоретических исследований соответствуют действующим нормам. Анализ полученных результатов отвечает современным требованиям.

Достоверность результатов натуральных и теоретических исследований подтверждается представительным количеством экспериментов (44 натуральных опытных фундамента, 88 точек статического зондирования), а также практикой проектирования и строительства зданий и сооружений, возведенных на односвайных фундаментах в г.г.Уфе, Тобольске и Челябинске.

Получена хорошая сходимость результатов теоретических исследований и данных натуральных испытаний. Несущая способность односвайных фундаментов, полученная расчетным путем, отличается на

7...20% от экспериментальных данных.

Научная новизна диссертационной работы заключается в том, что в ней для односвайных фундаментов комплексно решены следующие вопросы:

1. На основе технико-экономического анализа показана эффективность конструкции односвайных фундаментов из свай кольцевого сечения в области забивных свай и фундаментов в вытрамбованных котлованах в области монолитных конструкций фундаментов.

2. В глинистых грунтах экспериментально исследовано напряженно-деформированное состояние натуральных односвайных фундаментов при действии вертикальной и горизонтальной нагрузок, в том числе и при совместном их действии.

3. Экспериментально выявлен механизм работы горизонтально нагруженных односвайных фундаментов по "жесткой" и "гибкой" схемам, и разработана методика учета влияния нелинейности деформирования основания при расчетах на горизонтальную нагрузку.

4. На основе экспериментально-теоретических исследований предложены расчетные схемы и сформулированы общие принципы расчета несущей способности односвайных фундаментов на вертикальную и горизонтальную нагрузки в неоднородном основании с использованием данных статического зондирования.

5. На основе экспериментально полученных основных закономерностей взаимодействия грунта с односвайными фундаментами разработаны методы расчета осадок односвайных фундаментов в глинистых грунтах.

6. Разработан и реализован на практике комплект программ для автоматизированного расчета односвайных фундаментов под колонны каркасных зданий и сооружений.

Практическое значение работы. Диссертационная работа является частью комплексных исследований работы свайных фундаментов и фундаментов в вытрамбованных котлованах, проводимых на протяжении ряда лет в отделе оснований и фундаментов БашНИИСтроя.

Разработаны конструкции односвайных фундаментов из полых круглых свай и свай-оболочек высокой удельной несущей способности, а также методика расчета и проектирования односвайных фундаментов из свай кольцевого сечения и фундаментов в вытрамбованных котлованах, что позволяет качественно оценить несущую способность односвайных фундаментов и прогнозировать их осадку в глинистых грунтах. Применение этих разработок при строительстве позволяет существенно снизить материалоемкость фундаментов, трудоемкость работ нулевого цикла.

Результаты экспериментальных и теоретических исследований положены в основу «Рекомендаций по проектированию односвайных фундаментов из свай кольцевого сечения с насадками и в виде кустов с оптимальным шагом», «Рекомендаций по проектированию свайных фундаментов опор трубопроводов», «Руководства по проектированию и устройству фундаментов в вытрамбованных котлованах в региональных

условиях ТСО Южуралстрой. ВСН 67-263-89» и «Территориальных строительных норм по проектированию свайных фундаментов для строительства в условиях Республики Башкортостан». Результаты исследований нашли практическое применение при проектировании односвайных фундаментов зданий и сооружений в г.г.Уфе, Тобольске, Челябинске. Реальный экономический эффект от внедрения односвайных фундаментов предложенных конструкций составил свыше 366 тыс.руб. (цены 1984г.).

Личный вклад в решение проблемы. Представленная работа базируется на результатах многолетних исследований при непосредственном участии автора и выполнялась в соответствии с комплексной программой НИР и ОКР БашНИИСтроя (№№ государственной регистрации 01.870088305, 01.870088304, 01.870088327, 01.880090255, 01.880090258, 01.82504946, 01.87007682), программой Госстроя БАССР «Стройнаука-2000», целевой комплексной научно-технической программой Госстроя СССР ОЦ.031.055.16Ц (задание 06 и 07), а также по хозяйственным договорам с ТСО «Южуралстрой» (г.Челябинск).

Постановка проблемы, формулирование цели и всех задач, поиск их решения путем проведения теоретических и экспериментальных исследований, научные разработки и практические рекомендации, анализ полученных результатов и все выводы осуществлены автором.

Экспериментальные исследования проводились с участием сотрудников отдела оснований и фундаментов и группы испытаний БашНИИСтроя.

Автор выражает личную глубокую благодарность за научные консультации, помощь в работе и постоянную поддержку доктору технических наук Готману А.Л., доктору технических наук, профессору Гончарову Б.В., а также сотрудникам отдела оснований и фундаментов БашНИИСтроя, оказавшим помощь в выполнении исследований.

На защиту выносятся:

1. Анализ исследований работы эффективных конструкций односвайных фундаментов в различных грунтовых условиях.
2. Результаты комплексных экспериментальных исследований взаимодействия односвайных фундаментов из свай кольцевого сечения и в вытрамбованных котлованах с грунтом основания при воздействии вертикальной и горизонтальной нагрузок.
3. Инженерные методы расчета односвайных фундаментов на вертикальную и горизонтальную нагрузки в глинистых грунтах с методикой использования данных статического зондирования.
4. Практические предложения по проектированию односвайных фундаментов, в том числе с использованием ЭВМ.
5. Метод контроля несущей способности фундаментов в вытрамбованных котлованах по технологическим параметрам вытрамбовки с применением данных статического зондирования грунтов.

Апробация работы. Основные результаты исследований были доложены и обсуждены на II, III, V и VI Международных конференциях по проблемам свайного фундаментостроения (Пермь, 1990; Минск, 1992; Тюмень, 1996; Уфа, 1998), на III Всесоюзном координационном совещании-семинаре по механизированной безотходной технологии возведения свайных фундаментов (Владивосток, 1991), на Российской конференции по механике грунтов и фундаментостроению (Санкт-Петербург, 1995), на II, III Украинской научно-технической конференции по механике грунтов и фундаментостроению (Полтава, 1995; Одесса, 1997), на Международном конгрессе инженерной геологии (Канада, 1998), Международной конференции по современным проблемам механики грунтов и фундаментостроению (Санкт-Петербург, 2000) и Международной конференции по современным проблемам фундаментостроения (Волгоград, 2001), а также на четырех научных конференциях БашНИИСтроя (Уфа, 1983 – 1986).

Конструкции односвайных фундаментов и методы их расчета экспонировались на ВДНХ СССР, где автор работы был награжден бронзовой медалью ВДНХ СССР.

Основные результаты исследований были доложены и обсуждены на семинаре в НИИОСП им. Н.М.Герсеванова (Москва, 2003).

Публикации. Материалы проведенных работ опубликованы в 24 статьях. Результаты исследований защищены тремя авторскими свидетельствами на изобретения и включены в «Рекомендации по проектированию односвайных фундаментов из свай кольцевого сечения с насадками и в виде кустов с оптимальным шагом», «Рекомендации по проектированию свайных фундаментов опор трубопроводов», «Руководство по проектированию и устройству фундаментов в вытрамбованных котлованах в региональных условиях ТСО «Южуралстрой». ВСН 67-263-89» и «Территориальные строительные нормы по проектированию свайных фундаментов для строительства в условиях Республики Башкортостан».

Структура и объем работы. Диссертационная работа состоит из введения, девяти глав, основных выводов, списка литературы и приложений. Она содержит 389 страниц, включая 31 таблицу, 111 иллюстраций, список литературы из 299 наименований и 4 приложения.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность проблемы совершенствования конструктивных решений свайных фундаментов для каркасных зданий и сооружений. Решение ее предложено осуществить путем применения рациональных и эффективных конструкций односвайных фундаментов и создания надежных инженерных методов их расчета с использованием данных статического зондирования. Сформулированы цель и задачи, дана общая характеристика выполненных исследований.

1. Анализ существующих проектных решений односвайных фундаментов каркасных зданий и сооружений

Фундаменты под колонны каркасных зданий и сооружений относятся к числу наиболее распространенных сооружений в промышленном строительстве. На их возведение расходуется до 20% общего количества бетона и железобетона, применяемого при строительстве зданий. При строительстве в сложных инженерно-геологических условиях наибольшее распространение получили свайные фундаменты.

Свайные фундаменты широко применяются как в России, так и за рубежом. Во многих случаях они являются более технологичными по сравнению с другими, а иногда единственно приемлемым по геологическим условиям строительства типом фундамента.

Развитию свайного фундаментостроения способствовали работы следующих ученых: П.А.Аббасова, М.Ю.Абелева, А.А.Бартоломея, В.В.Бахолдина, В.Г.Березанцева, А.Н.Богомолова, Н.В.Бойко, Х.Брандля, Ж.Б.Берланда, П.Бермингема, Н.М.Герсеванова, Н.М.Глотова, В.Н.Голубкова, М.Н.Гольдштейна, Б.В.Гончарова, А.Л.Готмана, А.А.Григорян, Б.И.Далматова, В.К.Дмоховского, Н.М.Дорошкевич, Н.В.Жукова, В.В.Знаменского, П.А.Коновалова, Ф.К.Лапшина, В.В.Лушникова, А.А.Луги, Н.Г.Новожилова, Е.М.Перля, А.В.Пилягина, А.Б.Пономарева, Ю.В.Россихина, М.Рандольфа, В.С.Сажина, М.И.Смородинова, В.И.Соломина, С.Н.Сотникова, Ю.Г.Трофименкова, В.М.Улицкого, С.Б.Ухова, А.Б.Фадеева, В.И.Федорова, В.Г.Федоровского, В.М.Феклина, П.Франка, Н.А.Цытовича, В.М.Чикишева, В.Б.Швеца, А.М.Ягудина и других.

Широкому внедрению свайных фундаментов в массовое строительство и созданию новых конструкций свайных фундаментов с целью снижения их стоимости, материалоемкости и увеличения удельной несущей способности способствовали комплексные экспериментально-теоретические исследования, выполненные многими научными коллективами: БашНИИСтроем, ВНИИОСП им.Н.М.Герсеванова, Волгоградской ГАСА, Воронежской ГАСА, ДальНИИС, МГСУ им.В.В.Куйбышева, Марийским ГТУ, НИИСК, Новосибирской ГАСА, Пензенским ГАСИ, Пермским ГТУ, Полтавским ТУ, СПбГАСУ, Саратовским ГТУ, Томской ГАСА, Уфимским ГНТУ и др.

Развитие фундаментостроения направлено по пути разработки новых, экономичных конструкций фундаментов и методов их устройства, обеспечивающих повышение несущей способности грунтов в основаниях, более полного использования несущей способности материала фундаментов, совершенствования узла сопряжения колонн здания с фундаментами без дополнительных элементов, максимального сокращения объема опалубочных и земляных работ по отрывке и обратной засыпке котлована и т.п.

Анализ прогрессивных конструкций односвайных фундаментов позволяет выделить среди большого числа свайных фундаментов конструкции свай кольцевого сечения, обладающие высокой удельной несущей

способностью и технологичностью устройства фундаментов.

Опыт применения свай кольцевого сечения известен довольно давно. Особенно широкое распространение сваи кольцевого сечения получили в транспортном и гидротехническом строительстве. Такие сваи успешно применяются в Японии, США, Великобритании, Германии. В нашей стране, благодаря работам З.В.Бабичева, Б.В.Гончарова, А.Л.Готмана, Б.И.Далматова, О.Л.Денисова, Г.В.Канакова, Г.В.Миткиной, Г.Ф.Новожилова, Е.М.Перлея, А.Б.Пономарева, А.И.Прудентова, Г.М.Смиренского, В.Д.Фаерштейна и других, накоплен значительный опыт применения свай кольцевого сечения в промышленном и гражданском строительстве в Екатеринбурге, Москве, Нижнем Новгороде, С.-Петербурге, Уфе и др.

Другой рациональной конструкцией фундаментов, которые уже довольно давно применяются в строительной практике, являются фундаменты в вытрамбованных котлованах.

Исследованием и совершенствованием метода устройства фундаментов в вытрамбованных котлованах занимались Ю.А.Багдасаров, А.Г.Божко, В.И.Быков, Ю.В.Власов, А.А.Григорян, И.З.Гольдфельд, К.М.Джумаев, В.И.Крутов, Б.А.Сальников, И.Г.Рабинович, В.Л.Рафальзук, В.Б.Швец и др. Проведенные исследования позволили широко применять фундаменты в вытрамбованных котлованах в Новосибирске, Кишиневе, Тольятти, Оренбурге, Набережных Челнах, Челябинске и других городах. При этом обычно достигалось снижение объема земляных работ в 2-3 раза, расхода бетона в 1,5-2 раза, стоимости и трудоемкости работ в 1,2-2,5 раза.

По результатам обобщения существующих конструкций свай и свайных фундаментов, применяемых под колонны каркасных зданий и сооружений, в работе показана эффективность конструкций фундаментов из свай кольцевого сечения в области забивных свай и фундаментов в вытрамбованных котлованах в области монолитных конструкций фундаментов.

Рассмотрены и проанализированы основные теоретические схемы и методы расчета одиночных свай на вертикальную и горизонтальную нагрузки, разработанные и предложенные отечественными и зарубежными учеными.

Методы расчета одиночных свай на вертикальную нагрузку, основанные на теории предельного равновесия, разработаны Б.Бронсом, К.Терцаги, Х.Хираямой, А.Весичем, Г.Г.Меергофом, М.А.Хемидом, М.Ф.Рандольфом, В.Г.Березанцевым, А.А.Григорян, Ю.И.Ковалевым и др. В них рассматриваются различные схемы разрушения основания в предельном состоянии. Главной проблемой в методах расчета по данной теории является нахождение и математическое описание областей предельного равновесия, а также факторов, обуславливающих разрушение основания.

Рассмотрены методы расчета свай переменного по длине сечения. Их разработке посвящены экспериментальные и теоретические исследования Б.В.Бахолдина, В.Н.Голубкова, А.Л.Готмана, А.А.Григорян, Я.Ш.Зиязова, Н.Л.Зоценко, Ф.К.Лапшина, А.П.Хамова, В.Б.Шахирева и др. Основной особенностью этих методов является учет нормального сопротивления грунта

на боковой наклонной поверхности сваи.

Одним из наиболее перспективных и широко применяемых методов определения несущей способности основания свай является метод расчета с использованием данных статического зондирования. Значительный вклад в разработку и развитие этого метода внесли Б.В.Гончаров, Г.С.Колесник, Л.Г.Мариупольский, В.Ф.Разоренов, И.Б.Рыжков, Ю.Г.Трофименков, Х.Бегеман, Г.Г.Меергоф и др. За последние годы в нашей стране статическое зондирование достигло значительного развития, включено в строительные нормы и признано общепринятым методом определения несущей способности свай.

Для расчета свай на горизонтальную нагрузку к настоящему времени предложено много различных методов расчета, исходящих из самых различных предположений относительно работы сваи и грунта. В начальный период изучения вопроса расчета свай на горизонтальную нагрузку задача решалась на основе применения теории сыпучего тела (В.Г.Березанцев, А.Зархи, Б.Н.Жемочкин, Н.В.Лалетин, Н.И.Прокофьев, К.Хаяси, И.В.Яропольский и др.). Различие в формулах у разных авторов обуславливалось разными условиями потери устойчивости сваи в грунте. Затем по мере накопления экспериментальных данных стало развиваться другое направление – использование теории местных деформаций с решением задачи о балке на упругом основании, на основе которой разработаны многочисленные практические методы расчета, применяемые до настоящего времени (А.С.Буслов, А.Л.Готман, К.С.Завриев, Г.С.Лекумович, И.Я.Лучковский, В.В.Миронов, Н.Н.Снитко, А.С.Строганов, И.В.Урбан, В.Б.Шахирев, М.Т.Девиссон, Р.Мише, Г.Рамасами, Х.Ж.Поулос и др.). Разнообразие этих методов расчета обусловлено различными подходами к определению основного расчетного параметра – коэффициента постели и закономерностей его изменения по глубине.

Одним из направлений развития методов расчета горизонтально нагруженных свай является учет нелинейности работы основания и материала свай. За рубежом, по данным публикаций (А.Варадаражан, Г.Джилмер, С.Кей, Р.Л.Кулимеер, С.К.Парик, М.Ф.Рандольф, Л.З.Риз), большое распространение получил метод аналитического построения « $P-V$ », в котором эмпирически учитывается нелинейная связь между нагрузкой и деформацией. В применяемых методах расчета, как правило, не учитывается многослойность основания. В нашей стране преобладает подход к учету нелинейности путем корректировки коэффициента постели в итерационных расчетах (А.С.Буслов, А.Л.Готман, Л.Ш.Лундин и др.).

Таким образом, по мнению автора, основной задачей данной работы является выполнение комплексных экспериментально-теоретических исследований, направленных на разработку общих методов расчета односвайных фундаментов. В качестве односвайных фундаментов предлагается рассматривать фундаменты из свай кольцевого сечения и фундаменты в вытрамбованных котлованах, как конструкции, обладающие высокой удельной несущей способностью и низкой материалоемкостью.

2. Предпосылки исследований и разработки методов расчета односвайных фундаментов

В данной главе рассмотрены теоретические модели расчета основания односвайных фундаментов из свай кольцевого сечения и фундаментов в вытрамбованных котлованах на вертикальную и горизонтальную нагрузки, а также предпосылки экспериментальных исследований.

Особенностью фундаментов в вытрамбованных котлованах является то, что они забетонированы в скважине, образованной без выемки грунта вытрамбовкой, и то, что боковые грани имеют наклон к вертикали. В процессе вытрамбовывания скважины в грунтовом массиве вокруг нее происходят сложные деформационные явления: имеют место и разрыхление, и выпор, и уплотнение грунта, которые оказывают определенное влияние на работу фундамента.

Задача заключается в построении теоретической модели, максимально учитывающей физические процессы, происходящие в грунтовом основании при действии на фундамент вертикальной нагрузки, и в то же время позволяющей разработать методы расчета для практического использования при проектировании.

Из анализа решения В.Г.Березанцева для конического штампа, заглубленного в связную среду, с позиции теории предельного равновесия показано направление совершенствования данной модели применительно к фундаментам в вытрамбованных котлованах, и дано обоснование экспериментальных исследований по изучению напряженно-деформированного состояния системы «фундамент-основание» для разработки инженерного метода расчета, в том числе с использованием данных статического зондирования.

Изучение работы односвайного фундамента из свай кольцевого сечения заключается в рассмотрении сопротивления фундамента по грунту, которое складывается из сопротивления составляющих его элементов - насадки и свай.

С целью разработки инженерного метода расчета с использованием данных статического зондирования необходимо получить экспериментальные данные о контактных напряжениях под подошвой насадки и на ее боковой поверхности и выполнить параллельно статическое зондирование для коэффициентов перехода от данных зондирования к расчетным характеристикам грунта.

При этом следует также ответить на вопросы: что же является критерием предельного состояния, и какой вид предельного состояния является для данной конструкции определяющим. Если кривая "нагрузка-осадка", полученная по результатам статических испытаний свай, имеет плавную и пологую форму, то, очевидно, следует рассматривать задачу определения осадки свай. Если эта кривая будет иметь явные признаки "перелома", т.е. при определенной нагрузке будет иметь место резкое нарастание осадки, то, очевидно, следует рассматривать задачу определения несущей способности.

Численное моделирование работы системы «грунтовое основание – фундамент» с помощью пакета прикладных программ «PLAXIS» позволило оценить напряженно-деформированное состояние односвайных фундаментов из свай кольцевого сечения и в вытрамбованных котлованах и выявить зоны развития пластических деформаций с учетом роста нагрузки на фундамент.

При разработке метода расчета горизонтально нагруженных односвайных фундаментов в первую очередь возникает проблема выбора расчетной модели основания. Расчетная модель основания должна выбираться с учетом реальных деформационных и прочностных свойств грунтов. В этой области имеется множество различных подходов и точек зрения, зачастую находящихся в противоречии.

Исходя из рассмотрения и анализа существующих и наиболее часто используемых моделей грунтового основания, для расчета односвайных фундаментов предлагается использовать модель линейно-деформируемой среды, позволяющую выразить коэффициент постели через общепринятые параметры – модуль общей деформации и коэффициент Пуассона.

Одной из главнейших причин невысокой надежности всех методов расчета в фундаментостроении является недостаточно высокая точность методов определения расчетных характеристик грунта, которые используются в расчетных формулах. Основные требования, предъявляемые к расчетным характеристикам грунта: возможность получения их в условиях естественного залегания грунтов на любой требуемой глубине, допустимая стоимость и высокая скорость их получения. Этим требованиям наилучшим образом отвечает статическое зондирование, которое в настоящее время при наличии таких высокопроизводительных установок, как С-832М позволяет при сравнительно небольших трудозатратах до минимума сократить время на получение сведений о расчетных характеристиках грунтов в условиях их естественного залегания. Статическое зондирование грунтов менее трудоемко, чем статические испытания свай или бурение скважин с отбором образцов грунта и их последующим испытанием в лабораторных условиях, поэтому может быть выполнено в значительно большем объеме в пределах одной строительной площадки и, следовательно, достигнуть более достоверных результатов при проектировании.

Показано, что коэффициент постели C может быть определен с использованием модуля деформации грунта E , следовательно, если установить взаимосвязь между коэффициентом постели C и модулем деформации, то становится возможным использование данных статического зондирования (сопротивления под наконечником зонда q_z) для определения коэффициента постели, применив корреляционную связь между модулем деформации E и сопротивлением под наконечником зонда q_z .

3. Экспериментальные исследования односвайных фундаментов при действии вертикальной нагрузки

В соответствии с задачами, обоснованными в главе 2, выполнен комплекс экспериментальных исследований в полевых условиях на натуральных фундаментах в глинистых грунтах различных регионов России. Исследования проводились на восьми площадках в Уфе и Челябинске. Часть опытных фундаментов была оснащена тензоизмерительными приборами, с помощью которых измерялись деформации грунта и фундамента, усилия в фундаменте, контактные напряжения на боковой поверхности фундамента. На всех опытных площадках производились отбор монолитов грунта для определения их физико-механических характеристик и статическое зондирование установкой С-832М, оснащенной зондом II типа.

Опытные площадки сложены аллювиально-делювиальными четвертичными глинистыми отложениями от мягкопластичной до твердой консистенции. Основные физико-механические характеристики грунтов опытных площадок представлены в табл. 1.

Таблица 1

Физико-механические характеристики грунтов опытных площадок

№ площадки	Месторасположение	Влажность природная, W	Показатель текучести I_L	Плотность грунта, ρ / г/см^3		Коэффициент пористости, e	Степень влажности, S_r	Угол внутр. трения φ , град	Удельное сцепление c , МПа	Модуль деформации E , МПа
				природной влажности, ρ	в сухом состоянии, ρ_d					
1	(полигон БашНИИСтроя - г.Уфа)	0,25-0,34	-0,01-0,34	1,81-1,96	1,35-1,54	0,80-0,98	0,92-0,97	14-23	0,02-0,06	13-27
2	(УМКК – г.Уфа)	0,25-0,32	0,34-0,65	1,94-1,98	1,50-1,57	0,66-0,80	0,96-1,03	14-17	0,02-0,04	8-19
3	(УНПЗ – г.Уфа)	0,29-0,30	0,11-0,24	1,57-2,00	1,52-1,55	0,75-0,77	1,04-1,07	24-25	0,02-0,05	27-36
4	(НУНПЗ – г.Уфа)	0,28	0,26-0,27	1,95-1,97	1,52-1,54	0,72	-	-	-	-
5	(г.Челябинск)	0,20-0,25	0,25-0,30	1,91-1,95	1,56-1,59	0,75	-	19	0,02	18-21
6	(г.Благовещенск)	0,22-0,28	0,07-0,35	1,84-1,90	1,39-1,45	0,74-0,89	-	19	0,03	12-18
7	(Уфанефтехим)	0,29-0,36	0,26-0,43	1,84-1,96	1,35-1,53	0,76-0,88	0,94-0,99	-	-	-
8	(п.Ново-Александровка)	0,27-0,28	0,12-0,29	1,85-1,87	1,38-1,45	0,88-0,90	0,66-0,89	19-20	0,04-0,05	10-18

На этих площадках были выполнены испытания 44 натуральных опытных фундаментов, в том числе одиночных свай кольцевого сечения \varnothing 960 мм длиной от 5 до 8 м, односвайных фундаментов, состоящих из свай \varnothing 500 мм

длиной от 6 до 12 м и насадок $\varnothing 960$ мм длиной 2,4 и 5,0 м, и фундаментов в вытрамбованных котлованах с верхним сечением 1,12x1,3 м и 1,1x1,1 м и соответствующей длиной 2,8 и 3,0 м. Трамбовки имели шестигранную и восьмигранную формы. Часть опытных фундаментов была оснащена мессдозами давления мембранного типа для определения нормального давления на боковую поверхность фундаментов и мессдозами с кольцевым измерительным элементом для установки под нижним торцом фундамента.

Специальными поэлементными испытаниями на действие вертикальной нагрузки элементов и фундаментов в целом выявлено, что сумма предельных сопротивлений несущих элементов, сваи и насадки, испытанных в отдельности, меньше предельного сопротивления фундамента в целом, из чего следует, что несущую способность фундамента можно определять как сумму несущей способности его элементов с учетом поправочных коэффициентов. Результаты поэлементных испытаний одного из фундаментов представлены на рис.1.

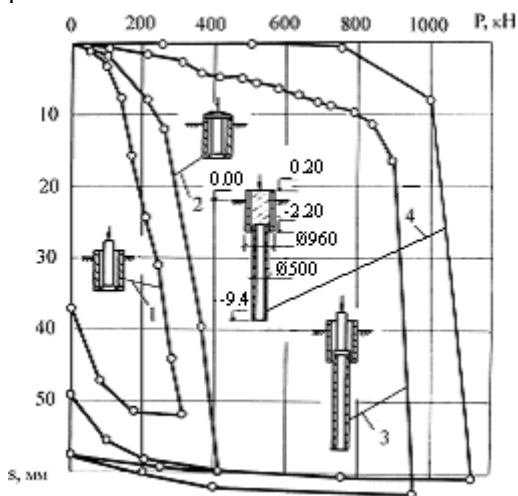


Рис. 1. Зависимости «нагрузка – осадка» вертикально нагруженных элементов односвайного фундамента № 7:
1 – штамп в полости насадки;
2 – насадка; 3 – свая в полости насадки; 4 – фундамент в целом

Исследования фундаментов в вытрамбованных котлованах выполнялись на площадках в Челябинске (площадка № 5) и Уфе (площадки № 6, 7 и 8).

При вытрамбовывании котлована происходит приложение на грунт ударной нагрузки при падении трамбовки. При этом в грунте происходят необратимые деформации в виде перемещений его отдельных частиц. Выпирание и связанное с ним разрыхление грунта при вытрамбовке скважины, несмотря на пирамидальность трамбовки, обуславливающей обжатие грунта боковыми гранями при осадке от нагрузки, приводят к снижению сопротивления грунта на боковой поверхности фундамента. В нижней части фундамент обжат грунтом, как и зонд при зондировании, поэтому в этой зоне

сходимость между данными зондирования и контактными напряжениями на боковой поверхности фундамента значительно лучше, чем в верхней части фундамента, где контакт грунта с фундаментом значительно слабее из-за наличия выпора грунта на поверхность. Поэтому использование данных статического зондирования грунтов для расчета фундаментов в вытрамбованных котлованах возможно лишь с введением поправочных коэффициентов, в той или иной степени учитывающих особенности работы фундаментов в вытрамбованных котлованах.

Для определения сопротивления под нижним торцом фундаментов в вытрамбованных котлованах у отдельных фундаментов на площадке № 5 в котловане перед бетонированием были установлены мессдозы с кольцевым измерительным элементом.

Результаты испытаний опытного фундамента представлены на рис.2. По показаниям мессдозы давления получена зависимость нагрузки, приходящейся на торец P_T от осадки фундамента.

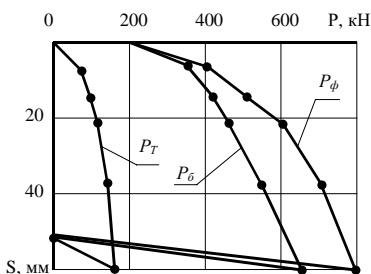


Рис.2. Зависимость «вертикальная нагрузка – осадка» для элементов фундамента: P_T – нагрузка на торец; $P_б$ – нагрузка на боковую поверхность; $P_ф$ – нагрузка на фундамент

Фундаменты в вытрамбованных котлованах существенно отличаются от других типов фундаментов. Их основания воспринимают вертикальную нагрузку за счет втрамбованного в грунт щебня, поэтому грунт включается в работу постепенно, по мере увеличения нагрузки и осадки. В связи с этим график «нагрузка-осадка» имеет форму пологой монотонно-убывающей функции в большом диапазоне осадки (вплоть до 50-60 мм).

Характер кривых (см.рис.3) зависит также от объема втрамбованного щебня $V_{щ}$, поэтому осадку фундамента для определения его предельного сопротивления необходимо выбирать с учетом $V_{щ}$. Однако сам объем щебня, как геометрическая величина, не может быть объективным показателем. Необходимо учитывать размеры трамбовки, определяющие форму уплотненной зоны в основании фундамента. Характер формирования зоны уплотнения фундамента будет обуславливать и характер зависимости «нагрузка-осадка», анализ которой позволил получить значения предельных осадок S_{np} для принятия предельного сопротивления фундамента. В табл. 2 приведены значения S_{np} в зависимости от сопротивления грунта под наконечником зонда в уровне подошвы фундамента R_n и отношения объема втрамбованного щебня к объему трамбовки $V_{щ}/V_{mp}$.

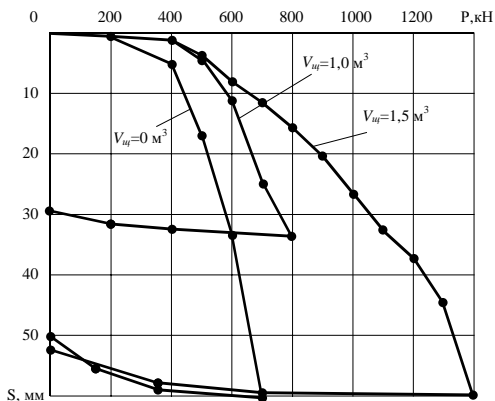


Рис.3. Результаты испытаний фундаментов в вытрамбованных котлованах с различным V_w

Таблица 2

Значения предельных осадок S_{np} для принятия предельного сопротивления фундамента в вытрамбованном котловане

V_w/V_{mp}	Значение S_{np} (мм) при R_n (МПа)			
	>2,0	1,5	1,0	<0,5
0	25	20	18	15
0,5	28	23	19	16
1,0	30	25	20	18
1,5	33	27	23	19
2,0	35	30	25	20

4. Исследование работы односвайных фундаментов при действии горизонтальной нагрузки

На фундаменты каркасных зданий и сооружений действуют, кроме вертикальной нагрузки, значительные горизонтальные и моментные нагрузки. Поэтому главной задачей при проектировании фундаментов является определение усилий и деформаций в фундаменте.

Экспериментальные исследования горизонтально нагруженных односвайных фундаментов из свай кольцевого сечения проводились на натуральных сваях в полевых условиях на трех опытных площадках. Всего изготовлено и испытано 20 свай кольцевого сечения, из них 9 свай были оснащены тензоприборами для измерения контактных напряжений и усилий в сваях.

Полученные графики «горизонтальная нагрузка – перемещение» нелинейны, и их нелинейность обусловлена нелинейной деформативностью основания и материала свай.

Экспериментально полученные эпюры изгибающих моментов в

односвайных фундаментах из свай кольцевого сечения и давления грунта подтверждают известные зависимости, полученные путем решения дифференциального уравнения изогнутой оси сваи.

Из представленных на рис.4 эпюр изгибающих моментов видно, что максимальный изгибающий момент располагается на 1,2 м ниже торца насадки и затухает до нуля на глубине 5 м.

Из эпюр давления грунта (рис.5.) следует, что с увеличением горизонтальной нагрузки оно нелинейно возрастает. Наблюдается некоторое удаление точки нулевых перемещений от поверхности грунта с увеличением нагрузки, что также может быть объяснено нелинейностью деформирования основания.

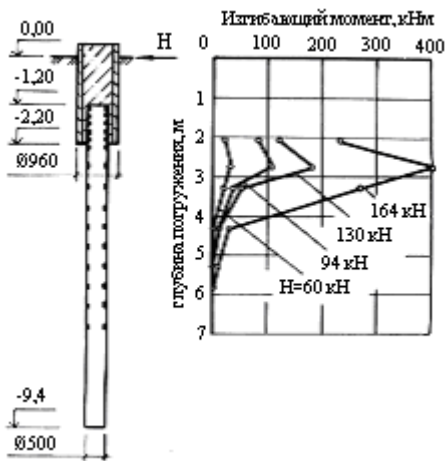
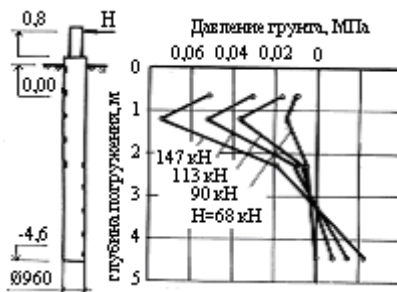


Рис.4. Эпюры изгибающих моментов в фундаменте № 7 при действии горизонтальной нагрузки

Рис.5. Эпюры давления грунта на сваю №25 при действии горизонтальной нагрузки



В задачи экспериментальных исследований горизонтально нагруженных фундаментов в вытрамбованных котлованах входило:

- изучение особенностей напряженно-деформированного состояния горизонтально нагруженного фундамента в грунте и грунтового основания;
- определение закономерностей возникновения и развития усилий в фундаменте и контактных напряжений на боковой поверхности фундамента в зависимости от действующей горизонтальной нагрузки;
- выявление влияния уширения в уровне нижнего торца фундамента на работу горизонтально нагруженного фундамента;
- оценка влияния вертикальной нагрузки на работу фундамента.

Эксперименты проводились на натуральных фундаментах в полевых

условиях на трех опытных площадках. Всего было испытано при действии горизонтальной нагрузки 14 фундаментов в вытрамбованных котлованах. Один из фундаментов (№ 38) был оснащен мессдозами давления. Два фундамента (№ 39 и 41) испытывались на горизонтальную нагрузку с вертикальным пригрузом.

При статических испытаниях фундаментов на горизонтальную нагрузку горизонтальные перемещения измерялись как в уровне поверхности грунта, так и на высоте 1 м, что позволило определить угол поворота фундамента. Приняв фундамент как абсолютно жесткое тело, по полученным горизонтальным перемещениям в уровне поверхности грунта и углу поворота опытных фундаментов была определена глубина расположения так называемой точки нулевых перемещений (т.н.п.). Без втрамбованного щебня т.н.п. располагается на глубине в среднем 1,4 м, при втрамбованном щебне в объеме $0,5 \text{ м}^3$ - 1,4 м; $1,0 \text{ м}^3$ - 1,7 м; $1,5 \text{ м}^3$ - 2,3 м, т. е. с увеличением объема втрамбованного щебня т.н.п. приближается к подошве фундамента. Очевидно, наличие втрамбованного щебня создает в области подошвы фундамента зону повышенной прочности, что препятствует горизонтальному смещению подошвы ФВК при его повороте от действия горизонтальной нагрузки, что является определяющим фактором и должно быть учтено в расчетной схеме как граничное условие.

Зависимости «горизонтальная нагрузка - перемещение» имеют ярко выраженный нелинейный характер. Линейная часть зависимостей наблюдается только при перемещениях в уровне поверхности грунта до 2-3 мм. При этом стабилизация перемещений имеет место в достаточно большом диапазоне перемещений (до 24-28 мм), т. е. значительно больших, чем допускается нормами. Вместе с тем, из-за больших поперечных размеров фундамента и наличия армирования, практически невозможен его изгиб, т.е. фундамент работает как «жесткий», поворачиваясь в грунте без изгиба. Из этого следует, что нелинейность графика «нагрузка-перемещение» проявляется только за счет нелинейной работы грунтового основания.

Для получения распределения нормальных напряжений грунта на боковой поверхности фундамента в фундаменте № 38 (без втрамбованного щебня) были установлены мессдозы давления мембранного типа.

Контактные напряжения (рис.6), полученные по показаниям мессдоз давления, установленных на боковой поверхности фундамента, растут равномерно, а характер их распределения по глубине фундамента свидетельствует о том, что фундамент работает в грунте по «жесткой» схеме.

Из этих результатов следует, что при построении расчетной схемы фундамента в вытрамбованном котловане за критерий предельного состояния следует принимать некоторую предельную величину деформации основания, т.е. следует решать задачу определения горизонтального перемещения фундамента. Прочность фундамента в вытрамбованном котловане при этом считается обеспеченной при соответствующем его армировании.

Из полученных результатов экспериментов следует, что при построении расчетной схемы ФВК за критерий предельного состояния следует

принимать некоторую предельную величину деформации основания, т. е. следует решать задачу определения горизонтального перемещения ФВК.

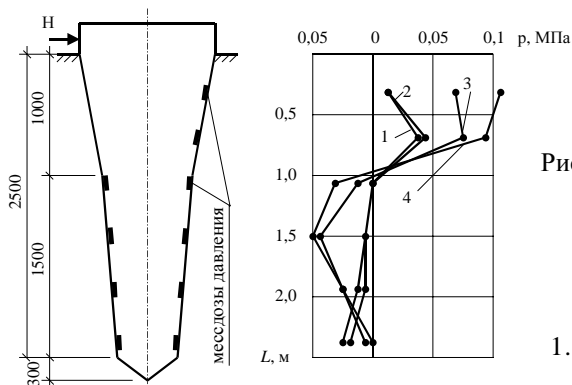


Рис.6. Схема установки месдоз по поверхности фундамента №38 и эпюры контактных давлений при различной горизонтальной нагрузке:
1...4 – $H=100, 125, 150, 175$ кН

5. Расчет односвайных фундаментов на вертикальную нагрузку

В результате экспериментальных исследований односвайных фундаментов из свай кольцевого сечения при действии вертикальной нагрузки установлено следующее:

- сопротивление на боковой поверхности насадки длиной до 2 м не учитывается, а при длине более 2 м необходимо определять с учетом проработки грунта как для призматических свай в соответствии с требованиями СНиП 2.02.03-85;

- сопротивление на боковой поверхности сваи определяется без учета проработки;

- удельное сопротивление грунта под нижним концом насадки и сваи принимается с учетом поправочных коэффициентов, учитывающих выпор грунта.

На основании полученных экспериментальных данных при действии вертикальной нагрузки следует, что исчерпание прочности основания происходит раньше, чем достигаются предельные осадки, поэтому задачей расчета является определение прочности основания.

Для разработки метода расчета фундамента приняты следующие предпосылки:

1. Фундамент представляет собой заглубленный в уплотненный грунт массивный элемент – насадка со свай, жестко защемленной в насадку в уровне ее подошвы.

2. Сопротивление односвайного фундамента из свай кольцевого сечения определяется как сумма сопротивлений по грунту основания насадки и сваи.

На основании принятых предпосылок сопротивление односвайного

фундамента вертикальной нагрузке F_u^ϕ запишется в общем виде

$$F_u^\phi = F_u^H + F_u^C, \quad (1)$$

где F_u^H - сопротивление насадки по грунту основания, кН;

F_u^C - сопротивление сваи вертикальной нагрузке по грунту, кН.

Частное значение предельного сопротивления фундамента определяется как сумма сопротивлений его элементов по формуле

$$F_u^\phi = \gamma_{CR} R_s^H (A^H - A^C) + u^H \sum f_i^H l_i^H + \gamma_{CR} R_s^C A^C + u^C \sum f_i^C l_i^C, \quad (2)$$

где γ_{CR} - коэффициент, принимаемый по табл. 3 в зависимости от глубины погружения и диаметра сваи или насадки;

R_s^H, R_s^C - сопротивление грунта под нижним концом соответственно насадки и сваи, МПа, определяемых по формуле

$$R_s = \beta_l q_s, \quad (3)$$

β_l - коэффициент перехода от q_s к R_s ;

q_s - среднее сопротивление грунта под наконечником зонда, МПа, на участке, расположенном в пределах одного диаметра выше и четырех диаметров ниже отметки нижнего конца сваи или насадки;

A^H, A^C - площадь сечения соответственно насадки и сваи, м²;

u^H, u^C - периметр насадки и сваи, м;

f_i^H, f_i^C - сопротивления на боковой поверхности насадки и сваи i -го слоя грунта, определяемые соответственно по данным зондирования, МПа;

l_i^H, l_i^C - толщина i -го слоя грунта соответственно в пределах насадки и сваи, м.

Таблица 3

Значения коэффициента γ_{CR}

L/d	≤ 2	3	4	6	8	12	16	22	≥ 30
γ_{CR}	0,25	0,32	0,4	0,52	0,62	0,76	0,86	0,95	1,0

Для решения задачи определения предельного сопротивления фундаментов в вытрамбованных котлованах с использованием данных статического зондирования необходимо выбрать схему расчета фундамента, в которой общее сопротивление основания фундамента определялось бы по значениям контактных механических характеристик грунта на боковой поверхности и под подошвой с тем, чтобы определять их по параметрам зондирования q_s и f_s .

При этом следует принять, что условно при какой-то осадке наступает предельное состояние основания на боковой поверхности и под подошвой фундамента в вытрамбованном котловане.

При такой постановке задачи расчетную схему фундамента в вытрамбованном котловане в общем виде можно представить в виде нагруженного вертикальной нагрузкой жесткого стержня бипирамидальной

формы с реактивным сопротивлением грунта трению f , направленным вдоль боковой поверхности фундамента, и нормальным сопротивлением R , направленным перпендикулярно к боковой поверхности, а также сопротивлением грунта R_n под подошвой фундамента или под подошвой уширения.

Приняты следующие допущения:

1) основание неоднородное, многослойное, с постоянными в пределах отдельных слоев f и R ;

2) фундамент по глубине состоит из двух участков с разными углами наклона граней;

3) размер сечения фундамента линейно изменяется с глубиной в пределах участка.

Общее сопротивление основания фундамента F_u составляет

$$F_u = F_o + F_{\sigma}, \quad (4)$$

где F_o – сопротивление подошвы фундамента, кН;

F_{σ} – сопротивление боковой поверхности, кН.

Сопротивление подошвы фундамента F_o запишется в виде

$$F_o = \gamma_{CR} \gamma_A \gamma_{\mathcal{W}} R_n A_n, \quad (5)$$

где γ_{CR} – коэффициент условий работы грунта под торцом фундамента;

γ_A – коэффициент увеличения площади нижнего торца фундамента в зависимости от $A_{нк}$ и $V_{ш}/V_{мп}$;

$\gamma_{\mathcal{W}}$ – коэффициент использования втрамбованного щебня;

R_n – расчетное сопротивление грунта под подошвой фундамента, МПа;

A_n – площадь подошвы фундамента, м².

Значение сопротивления боковой поверхности фундамента определяется по формуле

$$F_{\sigma} = u_1 \left(A_{1f} + \frac{\xi_1}{2} A_{1R} \right) - \xi_1 \left(B_{1f} + \frac{\xi_1}{2} B_{1R} \right) + u_2 \left(A_{2f} + \frac{\xi_2}{2} A_{2R} \right) - \xi_2 \left(B_{2f} + \frac{\xi_2}{2} B_{2R} \right), \quad (6)$$

где u_1, u_2 – периметр сечения верха соответственно первого и второго участков фундамента, м;

ξ_1, ξ_2 – коэффициенты, характеризующие уклон граней фундамента первого и второго участков;

$A_{1f}, A_{1R}, B_{1f}, B_{1R}$ – коэффициенты, характеризующие сопротивление боковой поверхности фундамента:

$$A_f = \sum f_i (z_i - z_{i-1}); B_f = \sum f_i (z_i^2 - z_{i-1}^2); A_R = \sum R_i (z_i - z_{i-1}); B_R = \sum R_i (z_i^2 - z_{i-1}^2), \quad (7)$$

z_i, z_{i-1} – глубина расположения подошвы i -го и $i-1$ -го слоев фундамента;

f_i – сопротивление грунта трению на боковой поверхности фундамента:

$$f_i = \beta_f f_s, \quad (8)$$

β_f – коэффициент перехода, принимаемый в зависимости от относительной глубины расположения слоя z_i/L_{ϕ} (L_{ϕ} – общая длина фундамента, м);

f_s – сопротивление грунта на боковой поверхности зонда, определяемое по данным зондирования, МПа;

R_i – нормальное сопротивление грунта на боковой поверхности фундамента:

$$R_i = \beta_f q_s, \quad (9)$$

β_f – коэффициент перехода, принимаемый в зависимости от относительной глубины расположения слоя;

q_s – сопротивление грунта под наконечником зонда, определяемое по данным зондирования, МПа.

Для облегчения расчетов выполнено табулирование всех коэффициентов, входящих в предлагаемые расчетные формулы.

Конечное выражение предельного сопротивления фундамента в вытрамбованном котловане на действие вертикальной нагрузки имеет следующий вид:

$$F_u^{зона} = \gamma_{cf} F_{\sigma} + \gamma_{CR} \gamma_A \gamma_V R_n A_n - Q, \quad (10)$$

где γ_{cf} – коэффициент условий работы грунта на боковой поверхности фундамента, определяемый в зависимости от относительной глубины фундамента и $V_{щ}$;

Q – вес фундамента, определяемый по объему трамбовки без учета $V_{щ}$.

Формула (10) является универсальной, так как справедлива для любых типоразмеров фундамента, в том числе пирамидальной, бипирамидальной, клиновидной и призматической по форме ствола и круглых, квадратных, многоугольных по форме поперечного сечения.

Фундаменты в вытрамбованных котлованах относятся к рациональным фундаментным конструкциям, позволяющим наиболее полно использовать несущую способность основания и материала фундамента. Однако отсутствие достаточно достоверных методов контроля несущей способности в процессе устройства фундаментов в некоторых случаях сдерживает их внедрение.

Схема взаимодействия трамбовки с грунтом при устройстве фундамента в вытрамбованном котловане с уширением следующая:

- при вытрамбовке котлована трамбовка на последнем ударе взаимодействует с грунтом боковой поверхностью и торцом, и величина понижения дна котлована составляет e_k ;

- после засыпки щебня трамбовка взаимодействует торцом с щебнем, ее перемещение за удар характеризуется перемещением только уплотненного щебня $e_{щ}$.

Для расчета несущей способности фундаментов в вытрамбованных котлованах с уширением предлагается формула

$$F_d = \frac{E(0,8e_{щ} + e_k)}{\beta e_k e_{щ}}, \quad (11)$$

где E – энергия удара молота;

e_k – понижение дна котлована на последнем ударе трамбовки;

$e_{щ}$ – понижение дна котлована при втрамбовывании щебня;

β – коэффициент, определяемый в зависимости от данных статического зондирования по табл.4.

Значения коэффициента β

Грунтовые условия по данным статического зондирования	Коэффициент β
Однородное напластование глинистых грунтов $q_s = 0,8 \dots 1,5$ МПа	11,0
То же, $q_s = 1,5 \dots 3,0$ МПа	8,0
Глинистые грунты $q_s = 1,5 \dots 3,0$ МПа, подстилаемые грунтами твердой консистенции $q_s = > 3,0$ МПа	6,0

Разработанные методы расчета реализованы на ЭВМ, и выполнены сопоставления расчетных данных с опытными.

Для односвайных фундаментов из свай кольцевого сечения и фундаментов в вытрамбованных котлованах погрешность расчета при использовании данных статического зондирования не превышает соответственно 28% и 31%.

6. Расчет односвайных фундаментов на действие горизонтальной нагрузки

В основу предлагаемого метода расчета односвайных фундаментов из свай кольцевого сечения на действие горизонтальной нагрузки положена расчетная схема, отвечающая следующему требованию: основание рассматривается как упругая линейно-деформируемая многослойная среда с постоянными в пределах отдельных слоев коэффициентами постели, определяемыми с использованием данных статического зондирования.

В связи с тем, что метод расчета горизонтально нагруженного односвайного фундамента из свай кольцевого сечения, работающего по «жесткой» схеме, отличается от «гибкой», то и коэффициент постели определялся отдельно для каждого случая.

Коэффициент постели для односвайных фундаментов, работающих по «жесткой» схеме, определяется по формуле

$$C_z = \frac{\xi}{(1 - \nu_i^2) d} q_{si} \quad (12)$$

где ξ - коэффициент, принимаемый в зависимости от d/l ;

ν - коэффициент Пуассона;

q_s - сопротивление грунта под наконечником зонда на глубине z по данным статического зондирования, МПа;

d - диаметр сваи, м.

Для свай, работающих по «гибкой» схеме, после обработки результатов испытаний была получена формула для определения коэффициента постели:

$$C_{zi} = \frac{\zeta A_z}{(1 - \nu_i^2) d} q_{si} \quad (13)$$

где ζ - коэффициент, принимаемый в зависимости от d/l ;

A_2 – коэффициент, принимаемый в зависимости от горизонтальной нагрузки H_o , кН.

Сущность предлагаемой методики учета нелинейности работы грунтового основания заключается в оценке деформированного состояния сваи и взаимодействующего со свайей грунта на различных стадиях загрузки. За основу принята методика расчета сваи на горизонтальную нагрузку, в которой свая рассматривается как абсолютно жесткая в многослойном винклеровском основании с постоянными в пределах отдельных слоев коэффициентами постели, которые определяются как для линейно-деформируемой среды по данным статического зондирования. При этом перемещения сваи от действия горизонтальной нагрузки определяются дискретно для различных нагрузок, увеличивающихся от некоторой начальной до предельной, аналогично определению перемещений сваи от ступенчато-возрастающих нагрузок при статических испытаниях.

Главной и наиболее сложной задачей в данной методике является определение коэффициента постели с учетом изменения напряженно-деформированного состояния грунтового основания от действия горизонтальной нагрузки. Так как горизонтальные перемещения по длине сваи различны, то при одной и той же нагрузке на сваю на разной глубине грунт находится в различных состояниях, и уже при небольших горизонтальных нагрузках, значительно меньше предельных, свая работает по грунту в области смешанных деформаций – упругих и пластических. В зоне больших перемещений, наиболее удаленных от точки нулевых перемещений, грунт испытывает пластические деформации, и здесь коэффициент постели уменьшается по сравнению с первоначальным. В зоне малых перемещений, вблизи точки нулевых перемещений, грунт находится в состоянии уплотнения, и коэффициент постели увеличивается. По мере увеличения нагрузки одно напряженно-деформированное состояние грунта переходит в другое, причем по глубине этот переход происходит также в различные моменты времени при различной нагрузке.

Коэффициент постели грунта принимается как функция

$$C = C_o \left[1 - \left(\frac{\sigma}{\sigma_{кр}} \right)^t \right], \quad (14)$$

где C_o – начальный коэффициент постели;
 σ – нормальное напряжение на боковой поверхности сваи;
 $\sigma_{кр}$ – критическое напряжение на боковой поверхности сваи;
 t – параметр нелинейности, равный 2,5.

Значение σ можно определить из основного решения как произведение коэффициента постели и перемещения сваи на данной глубине. Значение $\sigma_{кр}$ характеризует предельное сопротивление грунта на данной глубине и может определяться различными способами. Для практических целей представляется наиболее удобным и целесообразным использование параметра сопротивления

грунта под наконечником зонда q_z , получаемого при статическом зондировании, так как по физическому смыслу этот параметр характеризует предельное сопротивление грунта на данной глубине в условиях естественного его залегания.

В формуле (14) степень кривизны (нелинейности) графика «горизонтальная нагрузка-перемещение» определяет параметр t , который может быть найден по результатам натурных испытаний фундаментов. На основании сопоставления расчетных данных с результатами испытаний горизонтально нагруженных односвайных фундаментов из свай кольцевого сечения получено, что $t = 2,5$.

Учитывая конструктивные особенности фундаментов в вытрамбованных котлованах, а также результаты экспериментов для разработки метода расчета, были приняты следующие предпосылки:

1. Основание по глубине неоднородное, многослойное, разбито на n слоев с постоянным в пределах каждого слоя коэффициентом постели C_{zi} .

2. Размер стороны сечения ствола фундамента d_z с глубиной изменяется по линейной зависимости

$$d_z = d_o(1 - \xi z) , \quad (15)$$

где $\xi = (d_o - d_n) / ld_o$; (16)

d_o, d_n - размер стороны сечения соответственно верха и низа фундамента, м;

l - длина ФВК в грунте, м;

z - расстояние от поверхности грунта до рассматриваемого сечения фундамента, м.

3. При действии горизонтальной нагрузки и момента фундамент поворачивается в грунте как жесткий стержень без изгиба, откуда изменение горизонтального перемещения фундамента u_z по глубине принято как для жесткого стержня в линейно-деформируемой среде в виде

$$u_z = u_o(1 - z/l) , \quad (17)$$

где u_o - горизонтальное перемещение фундамента в уровне поверхности грунта, м;

z, l - то же, что и в формулах (15) и (16).

4. Давление грунта q_z на единицу длины фундамента пропорционально его горизонтальному перемещению:

$$q_z = d_z C_z u_z , \quad (18)$$

где C_z - коэффициент постели грунта на глубине z ;

d_z, u_z - определяются соответственно по формулам (15) и (17).

5. Уширение из втрамбованного щебня препятствует горизонтальному смещению нижнего конца ФВК, поэтому в расчетной схеме принято перемещение подошвы ФВК от действия горизонтальной нагрузки равным 0.

При расчете ФВК на горизонтальную нагрузку рассматриваются два случая определения коэффициента постели:

а) C_z рассчитывается по данным статического зондирования, при этом основание рассматривается многослойным, с постоянными в пределах отдельных слоев коэффициентами постели;

б) C_z определяется с использованием модуля деформации, основание при этом рассматривается и как многослойное, и как однослойное с линейно возрастающим по глубине коэффициентом постели.

В первом случае коэффициент постели C_z определяется по формуле

$$C_{zi} = \frac{18q_i}{(1-\nu_i^2)d_{icp}} \quad (19)$$

где q_i - сопротивление i -го слоя грунта под наконечником зонда по данным статического зондирования «со стабилизацией» установкой С-832, МПа.

d_{icp} - средний размер стороны сечения фундамента в i -ом слое грунта,

м.

Во втором случае C_z находится по формуле

$$C_z = \frac{2,7E_o}{(1-\nu^2)d_{cp}} \quad (20)$$

Из условия равновесия действующих и реактивных сил были получены формулы для определения перемещений и усилий в фундаменте при принятых граничных условиях:

$$z = l, \quad u_l = 0, \quad M_l = 0, \quad Q_l = P \quad (21)$$

где P - реактивная сила, возникающая в уровне подошвы фундамента, кН.

Перемещение в уровне поверхности грунта u_o и угол поворота ψ_o определяются по формулам:

$$u_o = M_o \delta_2 + H_o \delta_3 + \eta_1, \quad \psi_o = H_o \delta_3 - M_o \delta_1 + \eta_2 \quad (22)$$

$$\text{где } \delta_1 = I_1 / \zeta, \quad \delta_2 = I_2 / \zeta, \quad \delta_3 = I_3 / \zeta \quad (23)$$

$$\eta_1 = (PI_5) / \zeta, \quad \eta_2 = -(PI_4) / \zeta \quad (24)$$

$$\zeta = d_o (I_2^2 - I_1 I_3) / 12 \quad (25)$$

Коэффициенты $I_1 - I_5$ определяются по формулам:

$$I_1 = 12A - 6B\xi, \quad I_2 = 4C\xi - 6B, \quad I_3 = 4C - 3D\xi, \quad I_4 = I_1 l + I_2, \quad I_5 = I_2 l + I_3 \quad (26)$$

$$A = \sum_{i=1}^n C_{zi} (z_i - z_{i-1}) \quad , \quad B = \sum_{i=1}^n C_{zi} (z_i^2 - z_{i-1}^2) \quad , \quad (27)$$

$$C = \sum_{i=1}^n C_{zi} (z_i^3 - z_{i-1}^3) \quad , \quad D = \sum_{i=1}^n C_{zi} (z_i^4 - z_{i-1}^4) \quad .$$

где z_i и z_{i-1} - расстояние от расчетной поверхности грунта до подошвы и кровли i -го слоя грунта, м.

Значение P определяется из условия

$$u_l = u_o - \psi_o l = 0 \quad , \quad (28)$$

где u_l - горизонтальное перемещение фундамента в уровне подошвы, м.

Подставляя выражения (22) в (28) с учетом граничных условий (17) и решая относительно P , получаем

$$P = (H_o I_5 - M_o I_4) / (I_5 + I_4 l) \quad . \quad (29)$$

Для фундамента без втрамбованного щебня значение $P = 0$.

Расчетные значения поперечной силы Q_z и изгибающего момента M_z , действующие на глубине z в сечении фундамента, определяются по формулам

$$Q_z = H_o - (d_o / 12) (u_o I_{1z} + u_o I_{2z}) \quad , \quad (30)$$

$$M_z = M_o + H_o z - (d_o / 12) u_o (I_{1z} z + I_{2z}) - (d_o / 12) \psi_o (I_{2z} z + I_{3z}) .$$

Значения I_{1z} , I_{2z} , I_{3z} определяются по формулам (26) и (27), но при этом суммирование в формулах (27) производится до слоя, в который попадает сечение z .

В случае использования в качестве расчетного параметра модуля деформации основание принимается однослойным с изменением коэффициента постели по глубине по линейному закону в виде

$$C_z = C_l \frac{z}{l} \quad , \quad (31)$$

где C_l - коэффициент постели грунта в уровне подошвы фундамента, определяемый по формуле (20).

Тогда расчет осуществляется по вышеизложенной методике, но при этом значения I_{1z} , I_{2z} , I_{3z} определяются по формулам:

$$\begin{aligned} I_1 &= C_l (6 l - 4 \xi l^2) \quad ; \\ I_2 &= C_l (3 \xi l^3 - 4 l^2) \quad ; \\ I_3 &= C_l (15 l^3 - 12 \xi l^4) / 5 . \end{aligned} \quad (32)$$

Для учета нелинейности работы грунта основания предлагается использовать метод, примененный для односвайных фундаментов из свай кольцевого сечения, включающий определение перемещений фундамента путем последовательных расчетов для различных нагрузок аналогично нахождению перемещений фундамента от ступенчато-возрастающих нагрузок при статических испытаниях. Пересчет коэффициента постели производится по формуле (14).

Для оценки точности предложенных методов расчета результаты расчетов сравнивались с опытными данными. Полученные расчетные кривые достаточно точно описывают экспериментальные.

7. Применение численных методов расчета несущей способности односвайных фундаментов

Реализация задачи по определению несущей способности односвайных фундаментов, а также прогноз напряженно-деформированного состояния

активной зоны односвайных фундаментов были выполнены с помощью пакета прикладных программ «PLAXIS».

С помощью программы «PLAXIS» было выполнено численное моделирование работы односвайных фундаментов из свай кольцевого сечения и фундаментов в вытрамбованных котлованах с окружающим грунтом, которое включало в себя следующие вопросы:

- действие вертикальной сосредоточенной силы на одиночный фундамент из СКС и ФВК;
- действие горизонтальной сосредоточенной силы на одиночный фундамент из СКС и ФВК.

Результаты решения методом конечных элементов достаточно хорошо согласуются с опытными данными, полученными экспериментальным путем. Выполненное сравнение полученных расчетных величин с экспериментальными данными показывает, что расхождение величин осадок при действии вертикальной нагрузки составляет 5-10%, горизонтальных перемещений – 11-18%. Полученные контактные напряжения отличаются от расчетных на 20-25%.

8. Расчет осадок односвайных фундаментов

Выполненный анализ экспериментальных исследований показал, что для правильного расчета осадок свай и свайных фундаментов, оценки несущей способности грунтов основания необходимо учитывать зоны уплотнения и деформации грунта, возникающие вокруг свай и в плоскости острия в процессе их забивки.

Для расчета осадок односвайных фундаментов предлагается использовать рекомендуемые строительными нормами расчет осадки свайных фундаментов как условных фундаментов на естественном основании. Важной задачей при расчете осадки этим методом является правильно определить размеры условного фундамента.

Для выявления границ условных фундаментов применительно к рассматриваемым конструкциям фундаментов были выполнены исследования деформаций грунтового массива вокруг односвайных фундаментов.

С целью выявления уплотненной зоны вокруг забитых свай кольцевого сечения, ее формы, размеров и степени уплотнения грунта было выполнено статическое зондирование до и после забивки элементов фундамента № 10 (насадки и сваи) на различном расстоянии от оси фундамента.

По результатам тройного зондирования для каждой точки через каждый метр по глубине были вычислены относительные изменения сопротивления грунта под наконечником зонда.

Результаты выполненных экспериментально-теоретических исследований показывают, что непосредственно под подошвой свай уплотнение грунта основания увеличивается до двух раз, и увеличение уплотненной зоны распространяется ниже конца сваи на 2-2,5*d*. Таким образом,

в основании условного фундаментного массива необходимо различать две зоны: зону концентрации напряжений (уплотненную) толщиной h_y и зону грунта природного сложения толщиной h_{cp} .

При разработке метода расчета осадок односвайных фундаментов были приняты следующие исходные положения:

- 1) грунт основания считается линейно-деформируемым телом;
- 2) сваи и прилегающий околосвайный грунт рассматриваются как условный фундамент в виде единого массива;
- 3) нагрузка передается грунту в плоскости нижнего конца сваи;
- 4) основание принимается двухслойным: ниже конца сваи в пределах $2d$, как уплотненное, с модулем деформации $E_y = 1,5E_{cp}$, далее – грунт природного сложения с E_{cp} .

Границы условного фундамента определяются следующим образом: снизу – плоскостью, проходящей через нижний конец сваи, с боков – вертикальными плоскостями, отстоящими от сваи на расстоянии $h_c \operatorname{tg} \varphi/4$.

Фундаменты в вытрамбованных котлованах, как правило, выполняются с уширенным основанием, которое получается путем втрамбовывания отдельными порциями в дно вытрамбованного котлована жесткого материала.

Важной задачей при разработке метода расчета осадки является оценка деформативности грунтовых слоев, залегающих в основании. Грунтовое основание под подошвой фундамента принимается трехслойным при втрамбовывании в дно котлована жесткой смеси и двухслойным без ее использования.

Для определения размеров уплотненной зоны предлагается толщину уплотненной зоны принять равной $h_y = 1,5d_{cp}$ (d_{cp} – ширина фундамента в среднем сечении).

При разработке метода расчета осадок фундаментов в вытрамбованных котлованах были приняты следующие исходные положения:

- 1) грунт основания считается линейно-деформируемым телом;
- 2) нагрузка передается грунту в плоскости нижнего торца фундамента;
- 3) основание принимается трехслойным: ядро из втрамбованного щебня, уплотненная зона и грунт природного сложения.

При расчете за размер подошвы фундамента принимается размер поперечного сечения уширенного основания из жесткого материала в месте его наибольшего уширения.

В тех случаях, когда фундамент выполняется без уширения из жесткого материала, размер подошвы условного фундамента принимается из условия ширины уплотненной зоны в уровне нижнего торца, равной $b_y = 2d_n$.

Для расчетов, учитывая малую деформативность втрамбованного щебня, модуль деформации втрамбованного щебня принят $E_y = 50$ МПа. В пределах уплотненной зоны, на основании экспериментальных данных принимаем $E_y = 1,5E_{cp}$ (E_{cp} – модуль деформации грунта природного сложения).

Модуль деформации грунта природного сложения предлагается определять с использованием данных статического зондирования.

Для оценки точности предложенного метода расчета осадок односвайных фундаментов из свай кольцевого сечения и фундаментов в вытрамбованных котлованах результаты расчетов сравнивались с опытными данными. Сопоставление величин осадок, полученных экспериментальным и расчетным способами, показывает, что расхождение не превышает 38%.

9. Практическое внедрение результатов исследований односвайных фундаментов

На основании результатов выполненных экспериментально-теоретических исследований разработана общая методология проектирования односвайных фундаментов под колонны каркасных зданий и сооружений, заключающаяся в выполнении комплекса расчетов фундаментов на вертикальную и горизонтальную нагрузки с учетом нелинейности работы грунта основания и материала свай с использованием данных статического зондирования, а также с учетом конструктивных особенностей технологических факторов возводимых фундаментов.

Разработан комплекс программ для автоматизированного расчета фундаментов на ЭВМ, позволяющий запроектировать оптимальную конструкцию фундаментов.

Практическое внедрение односвайных фундаментов на объектах промышленного строительства подтвердило их высокую эффективность по сравнению с фундаментами в виде кустов свай с ростверком и столбчатыми фундаментами на естественном основании, что позволяет рекомендовать односвайные фундаменты для массового применения в практике строительства. Объем внедрения односвайных фундаментах на 16 объектах составил 1878 м³. От применения односвайных фундаментов экономический эффект составил 366270 рублей (в ценах 1984 года). Эффективность применения односвайных фундаментов, выраженная в снижении сметной стоимости фундаментов на 1 м³ их объема, составила от 51,2 до 365,8 рублей.

Основные результаты исследований и общие выводы по работе

Всесторонние исследования односвайных фундаментов из свай кольцевого сечения и фундаментов в вытрамбованных котлованах при их взаимодействии с окружающим грунтом, создание на основе экспериментально-теоретических исследований методики расчета несущей способности односвайных фундаментов в глинистых грунтах, внедрение результатов в практику строительства явились решением важной народно-хозяйственной проблемы по проектированию и устройству односвайных фундаментов.

Основные научные и практические результаты исследований сводятся к следующему:

1. Проведен комплекс экспериментальных и теоретических

исследований, разработана методика расчета эффективных конструкций односвайных фундаментов под колонны каркасных зданий и сооружений, что послужило основой для решения крупной народнохозяйственной задачи – снижения стоимости, материалоемкости и трудоемкости нулевого цикла в промышленном и гражданском строительстве.

2. На основании вариантного проектирования и расчета технико-экономических показателей установлено, что наиболее эффективными конструкциями фундаментов являются в области забивных свай односвайные фундаменты из свай кольцевого сечения, в области монолитных конструкций фундаментов – фундаменты в вытрамбованных котлованах.

3. Экспериментами на натурных фундаментах из свай кольцевого сечения получены закономерности деформирования элементов односвайных фундаментов в зависимости от их осадки на различных стадиях загрузки вертикальной нагрузкой.

4. Экспериментально установлено, что сопротивление фундамента в вытрамбованном котловане зависит от $V_{ц}$, прочности грунтового основания, формы и размеров трамбовки. Распределение общего сопротивления фундамента между сопротивлениями на боковой поверхности и под нижним торцом зависит от $V_{ц}$. Предельное сопротивление фундамента в вытрамбованном котловане по данным статических испытаний следует определять при осадке фундамента, принимаемой дифференцированно в зависимости от $V_{ц}$, параметров прочности грунтового основания, формы и размеров трамбовки. Предложены табличные данные для выбора предельных осадок в зависимости от этих факторов.

5. Экспериментально оценено влияние нелинейной работы основания и материала горизонтально нагруженных свай кольцевого сечения на их перемещения и установлено, что учитывать нелинейную деформируемость грунта основания под нагрузкой необходимо лишь при расчете по деформациям жестких свай. Для гибких свай нелинейный характер зависимости «горизонтальная нагрузка-перемещение» может быть учтен путем изменения жесткости сечения железобетонной сваи.

6. Полученные экспериментальные данные, характеризующие напряженно-деформированное состояние горизонтально нагруженных фундаментов в вытрамбованных котлованах, показывают, что уже при небольших горизонтальных перемещениях фундамента (2-3 мм) зависимость «нагрузка-перемещение» приобретает нелинейный характер, при этом на сопротивление фундамента горизонтальной нагрузке существенное влияние оказывает уширение основания. При наличии в основании фундамента в вытрамбованном котловане уширения последнее способствует «закреплению» нижнего торца фундамента при его горизонтальном перемещении и обеспечивает увеличение сопротивления фундамента горизонтальной нагрузке.

7. На основании анализа напряженно-деформированного состояния системы «фундамент - основание» принято, что за критерий предельного состояния условно можно принять некоторую нормативную величину

горизонтального перемещения фундамента с учетом обеспечения прочности фундамента на изгиб и подобрать расчетные параметры грунтового основания, удовлетворяющие этому критерию.

8. На основании экспериментальных данных построена расчетная схема вертикально нагруженных односвайных фундаментов из свай кольцевого сечения и получены расчетные формулы для определения предельного сопротивления таких фундаментов. Предложена методика их расчета с использованием данных статического зондирования. Разработанные методы расчета реализованы на ЭВМ, выполнены сопоставления расчетных данных с опытными.

9. Для расчетов на горизонтальную нагрузку разработана методика определения коэффициента постели грунта по деформационным характеристикам грунта E и ν и по сопротивлению грунта под наконечником зонда q_s , получаемому при статическом зондировании.

10. Показана возможность применения для анализа напряженно-деформированного состояния активной зоны односвайных фундаментов пакета прикладных программ «PLAXIS» с использованием метода конечных элементов, что позволяет учитывать нелинейную работу грунта и неоднородность напластования грунтов основания.

11. На основании выполненных экспериментальных и теоретических исследований построены расчетные схемы и разработана методика расчета осадок односвайных фундаментов из свай кольцевого сечения и в вытравованных котлованах.

12. Практическое внедрение односвайных фундаментов на объектах промышленного и гражданского строительства подтвердило их высокую эффективность по сравнению с фундаментами в виде кустов свай с ростверком и столбчатыми фундаментами на естественном основании. Объем внедрения односвайных фундаментов на 16 объектах составил 1878 м³. Экономический эффект от применения односвайных фундаментов составил 366270 рублей (в ценах 1984 года).

Основное содержание диссертации опубликовано в следующих работах:

По теме диссертации опубликована 51 статья, при этом наиболее полно содержание диссертации отражено в 27 публикациях.

1. Готман А.Л., Галеев Р.Г., Шеменков Ю.М. Односвайные фундаменты под опоры трубопроводов // Энергетическое строительство. – М., 1988. – №10. – С.19-21.

2. Шеменков Ю.М., Миткина Г.В. Экспериментальные исследования односвайных фундаментов из свай кольцевого сечения на действие вертикальной и горизонтальной нагрузки // Расчет и проектирование свай и свайных фундаментов: Тр. II Всесоюз. конф. «Современные проблемы свайного фундаментостроения в СССР». – Пермь: изд-во Перм. политехн. ин-та, 1990. – С.47-48.

3. Бабичев З.В., Максимов В.А., Шеменков Ю.М. Прогрессивные конструкции фундаментов в виде одной сваи под колонну // Расчет и проектирование свай и свайных фундаментов: Тр. II Всесоюз. конф. «Современные проблемы свайного фундаментостроения в СССР». – Пермь: изд-во Перм. политехн. ин-та, 1990. – С.122-123.

4. Миткина Г.В., Шеменков Ю.М. Расчет несущей способности односвайных фундаментов из свай кольцевого сечения по данным статического зондирования //Механизованная безотходная технология возведения свайных фундаментов из свай заводской готовности: Матер. III Всесоюз. коорд. совещ.-семинара. - Владивосток; 1991. – С.63-66.

5. Готман А.Л., Миткина Г.В., Шеменков Ю.М. Расчет фундаментов в вытрамбованных котлованах на действие вертикальной нагрузки по данным статического зондирования грунтов // Проблемы свайного фундаментостроения: Тр. III Междунар. конф. – Пермь, 1992. – Ч.1. – С.118-121.

6. Готман А.Л., Шеменков Ю.М. Исследование и разработка метода расчета горизонтально нагруженных свай в пробитых скважинах // Проблемы свайного фундаментостроения: Тр. III Междунар. конф. – Пермь, 1992. – Ч.1. – С.121-125.

7. Шеменков Ю.М., Миткина Г.В. Экспериментальные исследования односвайных фундаментов // Основания, фундаменты и механика грунтов. – М., 1993. - №2. – С.12-16.

8. Готман А.Л., Миткина Г.В., Шеменков Ю.М. Особенности работы вертикально нагруженных фундаментов в вытрамбованных котлованах в глинистых грунтах // Тр. Рос. конф. по механике грунтов и фундаментостроению. (13-15 сентября 1995г.) – СПб., 1995. – Ч.2. – С.253-258.

9. Готман А.Л., Миткина Г.В., Шеменков Ю.М. Расчет несущей способности фундаментов в вытрамбованных котлованах в глинистых грунтах // Эффективные фундаменты, сооружаемые без выемки грунта: Тр. II Укр. науч.-техн. конф. по механике грунтов и фундаментостроению. – Полтава: изд-во Полт. техн. ун-та. – 1995. – Ч.1. – С.104-107.

10. Готман А.Л., Миткина Г.В., Шеменков Ю.М. Исследование взаимодействия фундаментов в вытрамбованных котлованах с грунтом основания // Экспериментально-теоретические исследования взаимодействия свай и фундаментов глубокого заложения с окружающим грунтом: Тр. V Междунар. конф. по проблемам свайного фундаментостроения. - М., 1996. – Т.1. - С.45-50.

11. Усманов М.М., Гончаров Б.В., Шеменков Ю.М. Расчет несущей способности фундаментов в вытрамбованных котлованах по динамической формуле // Расчет несущей способности осадок свай и свайных фундаментов: Тр. V Междунар. конф. по проблемам свайного фундаментостроения. - М., 1996. – Т. II. - С.123-127.

12. Готман А.Л., Миткина Г.В., Шеменков Ю.М. Исследование вертикально нагруженных фундаментов в вытрамбованных котлованах и расчет их несущей способности // Основания, фундаменты и механика грунтов. – М.,

1996. - №5. – С.19-23.

13. Шеменков Ю.М., Готман А.Л. Исследования фундаментов в вытрамбованных котлованах и разработка метода расчета при действии горизонтальной нагрузки // Механика грунтов и фундаментостроение: Тр. III Укр. науч.-техн. конф. по механике грунтов и фундаментостроению (17-19 сентября 1997 г.): в 2 т. – Одесса, 1997. - Т. 1. – С.117-120.

14. Шеменков Ю.М., Миткина Г.В., Закирова Р.А. Программный комплекс автоматизированного расчета несущей способности свай // Механика грунтов и фундаментостроение: Тр. III Укр. науч.-техн. конф. по механике грунтов и фундаментостроению (17-19 сентября 1997 г.): в 2 т. – Одесса, 1997. - Т. 1. – С.121-123.

15. Амиров Р.В., Гончаров Б.В., Шеменков Ю.М. Об учете выпора грунта при расчете несущей способности ФВК по динамическим формулам // Механика грунтов и фундаментостроение: Тр. III Укр. науч.-техн. конф. по механике грунтов и фундаментостроению (17-19 сентября 1997 г.): в 2 т. – Одесса, 1997. - Т. 1. – С.142-143.

16. Усманов М.М., Гончаров Б.В., Шеменков Ю.М. Расчет ФВК на действие горизонтальных нагрузок по «отказам» при вытрамбовывании // Механика грунтов и фундаментостроение: Тр. III Укр. науч.-техн. конф. по механике грунтов и фундаментостроению (17-19 сентября 1997 г.): в 2 т. – Одесса, 1997. - Т. 1. – С.189-190.

17. Амиров Р.В., Гончаров Б.В., Шеменков Ю.М. Определение несущей способности фундаментов в вытрамбованных котлованах динамическим методом // Тр. VI Междунар. конф. по проблемам свайного фундаментостроения (Уфа, 14-18 сентября 1998г.). – М., 1998. - Т. 1. – С.112-115.

18. Amirov R.V., Shemenkov Y.M., Gotman A.L., Goncharov B.V. Estimation of foundation bearing capacity in tamped trenches in clays with the dynamic method // Proceeding Eighth International Congress International Association for Engineering Geology and the Environment (21-25 September 1998, Vancouver, Canada, 8th International IAEG Congress). – Balkema, Rotterdam, 1998. - P.3439-3441.

19. Гончаров Б.В., Шеменков Ю.М. Определение несущей способности ФВК динамическим методом // Основания, фундаменты и механика грунтов. – М., 1999. - №2. – С.22-24.

20. Mitkina G.V., Shemenkov Y.M. Computerized calculation of pile load capacity and the geological sections plotting // Proceeding of the third international conference on advances of computer methods in geotechnical and geoenvironmental engineering (Moscow, 1-4 February 2000), Geocology and Computers). – Balkema, Rotterdam, Brookfield, 2000. - P.323-325.

21. Миткина Г.В., Шеменков Ю.М. Исследование фундаментов из полых круглых свай, разработка методов их расчета и опыт внедрения // Геотехника: наука и практика: Сб. науч. тр. Междун. конф. по современным проблемам механики грунтов и фундаментостроения, посвященная памяти

Б.И.Далматова. - СПб.: СПбГАСУ, 2000. – С.150-155.

22. Шеменков Ю.М. Эффективные фундаменты каркасных зданий и сооружений, их исследование и расчет // Современные проблемы фундаментостроения: Сб.тр. Междунар.науч.-техн.конф.: в 4 ч. / ВолгГАСА. - Волгоград, 2001. - Ч.1-2. – С.78-80.

23. Шеменков Ю.М., Гончаров Б.В. Метод контроля несущей способности фундаментов в вытрамбованных котлованах по технологическим параметрам с применением данных статического зондирования // Современные проблемы фундаментостроения: Сб.тр. Междунар.науч.-техн.конф.: в 4 ч. / ВолгГАСА. - Волгоград, 2001. - Ч.3-4. – С.98-100.

24. Шеменков Ю.М., Готман А.Л. Экспериментальные исследования фундаментов в вытрамбованных котлованах при действии горизонтальной нагрузки и их расчет // Основания, фундаменты и механика грунтов. – М., 2002. - № 1. – С.12-16.

25. А.с. № 1411377 СССР. Устройство для погружения сборных свай-оболочек / Готман А.Л., Шеменков Ю.М. (СССР). - № 4163779/29-33; Заявлено 19.12.86; Оpubл. 23.07.88., Бюл. № 27 // Изобретения. - 1988. - № 27.

26. А.с. № 1596019 СССР. Свая / Соколов Г.А., Шеменков Ю.М. (СССР). - № 4497918/23-33; Заявлено 25.10.88; Оpubл. 30.09.90., Бюл. № 36 // Изобретения. - 1990. - № 36.

27. А.с. № 1763575 СССР. Устройство для забивки полых элементов / Готман А.Л., Шеменков Ю.М. (СССР). - № 4732616/33; Заявлено 22.08.89; Оpubл. 23.09.92., Бюл. № 35 // Изобретения. - 1992. - № 35.

Подписано к печати 26.08.2003 г. Объем 2,2 печ. л.
Отпечатано в БашНИИСтрое. Тираж 90. Заказ № 127