

На правах рукописи



ТАРАСОВ АЛЕКСАНДР АЛЕКСАНДРОВИЧ

**РАЗВИТИЕ МЕТОДОВ РАСЧЁТА ИНЪЕКЦИОННЫХ СВАЙ В СЛАБЫХ
ГЛИНИСТЫХ ГРУНТАХ ДЛЯ ФУНДАМЕНТОВ РЕКОНСТРУИРУЕМЫХ
ЗДАНИЙ**

Специальность 05.23.02 – Основания и фундаменты,
подземные сооружения

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург – 2015

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Томский государственный архитектурно-строительный университет»

Научный руководитель: доктор технических наук, профессор
Полищук Анатолий Иванович

Официальные оппоненты: **Шашкин Алексей Георгиевич,**
доктор геолого-минералогических наук,
ФГБОУ ВПО «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», доцент кафедры «Основания и фундаменты»;

Осокин Анатолий Иванович
кандидат технических наук, доцент
ЗАО «Геострой» (г. Санкт-Петербург), генеральный директор

Ведущая организация: **ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (ПНИПУ)**

Защита диссертации состоится «29» декабря 2015 г. в 14-00 часов на заседании диссертационного совета Д212.223.01 при ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» по адресу: 190005, Санкт-Петербург, ул. 2-я Красноармейская, д.4, зал заседаний диссертационного совета (аудитория 219).

Тел./Факс: (812) 316-58-72; E-mail: rector@spbgasu.ru

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке ФГБОУ ВПО «Санкт-Петербургский государственный архитектурно-строительный университет» и на сайте www.spbgasu.ru.

Автореферат разослан « ____ » _____ 2015 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета
кандидат технических наук



Владимир Викторович Конюшков

I ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность избранной темы. При реконструкции, восстановлении зданий часто приходится решать вопросы усиления фундаментов и упрочнения грунтов оснований. В последние годы все большее распространение получает способ усиления фундаментов реконструируемых зданий в глинистых грунтах путём передачи части нагрузки от здания на инъекционные сваи, который прошёл апробацию и внедрён на ряде объектов в г. Томске и других городах России. Под инъекционными понимаются сваи, которые формируются в предварительно подготовленных скважинах путём инъекции под давлением подвижной бетонной смеси с последующей опрессовкой системы «свая-грунт основания» [А.И. Полищук, А.А. Петухов, 2005 г.] К настоящему времени выполнен целый ряд исследований работы инъекционных свай в глинистых грунтах (2003-2015 гг.). Однако, вопросы взаимодействия инъекционных свай для фундаментов реконструируемых зданий на слабых глинистых грунтах и методы их расчёта исследованы пока недостаточно [здесь и далее, под слабыми глинистыми грунтами понимаются водонасыщенные глинистые грунты (супеси, суглинки и глины) с коэффициентом водонасыщения $S_r > 0,8$ и модулем общей деформаций $E \leq 5$ МПа (по определению М.Ю. Абелева и др., 1973-1978 гг.)]. Поэтому тема диссертационной работы является актуальной.

Степень разработанности темы исследований. В условиях реконструкции и восстановления зданий инъекционные сваи устраиваются обычно в предварительно подготовленных скважинах с последующим их заполнением подвижной бетонной смесью под давлением. Скважины могут выполняться посредством вдавливания или ввинчивания в грунт инъекторов различной конструкции, которые в последующем извлекаются или выполняют роль арматуры. Величина давления нагнетания бетонной смеси в скважины изменяется обычно от 0,1 до 1,0 МПа. Для устройства инъекционных свай применяются и другие технологии, которые рассмотрены в первой главе диссертации.

В большинстве случаев, при формировании ствола инъекционной сваи происходит расширение начального диаметра скважины в радиальном направлении под действием давления инъектируемой смеси. При разработке методов расчёта рассматривается задача осесимметричного расширения скважины в грунтовой среде. Задача о расширении цилиндрической полости в грунте впервые была рассмотрена в 30-х годах XX - го столетия К. Терцаги, Б.П. Поповым, Ф. Кёглером и др. Существенное развитие решение задачи о расширении скважины в радиальном направлении получило в 60-х...80-х годах прошлого века. Работы велись в основном в двух направлениях: первое - определения несущей способности свай; второе – оценка результатов прессиометрических испытаний. В последующем развитии этих направлений занимались Г.К. Бондарик, Л. Менар, П. Чедвик, К.В. Руппенейт и М.И. Бронштейн, С.Л. Коренева, В.В. Лушников и М.Г. Мариупольский, В. Андерсен и Р. Гибсон, М. Сагасет и М. Рандальф, Д. Картер и С. Янг, В.Г. Федоровский, Г.П. Корчагин, Б.И. Дидух и другие.

При расчёте и конструировании инъекционных свай в слабых глинистых грунтах также учитываются особенности деформирования таких грунтов. Для этого используются теории фильтрационной консолидации грунтов, ползучести, пластичности и др. Вопросами оценки деформируемости слабых глинистых грунтов посвящены исследования К. Терцаги, Д.Е. Польшина, Н.М. Герсеванова, Н.Н. Маслова, В.А. Флорина, Н.А. Цытовича, М.Ю. Абелева, М. Био, Л. Рендулика, Ю.К. Зарецкого, А.Л. Голдина, Л.В. Горелика, П.Л. Иванова, М.В. Малышева, Р.А. Мангушева, З.Г. Тер-Мартirosяна, А.Б. Пономарева, В.М. Улицкого, А.Г. Шашкина, Н.П. Пузыревского, В.П. Дыба, А.И. Осокина, Б.Ф. Рельтова, С.А. Роза, В.Н. Парамонова, Б.И. Далматова, И.И. Сахарова, С.А. Кудрявцева и многих других.

Один из способов устройства инъекционных свай был разработан сотрудниками ТГАСУ (пат. № 2238366 РФ, 2003 г), который прошёл апробацию и может использоваться для усиления фундаментов реконструируемых зданий в слабых глинистых грунтах. При устройстве инъекционных свай по рассматриваемому способу применяют инъекторы, преимущественно, из перфорированных стальных труб различного диаметра, вдавливаемые в грунт до заданной отметки. В инъекторе предусмотрены уширения в уровне нижнего конца, а также по его длине (чаще на границах зон перфорации). Уширение по длине ствола инъектора выполняется в виде стальных плоских колец большего диаметра. Уширение в уровне нижнего конца – в виде плоского стального диска со стальными пластинами. Особенность рассматриваемой конструкции инъектора заключается в том, что при его вдавливании в глинистый грунт между инъекторной трубой и стенкой скважины образуется воздушный зазор, впоследствии заполняемый бетоном. Установлено, что наличие воздушного зазора приводит к снижению, а в ряде случаев, к полному устранению сил трения на боковой поверхности инъектора в процессе его погружения и снижает усилие вдавливания в 1,5...4 раза [Петухов А.А., Шалгинов Р.В. и др., 2006...2010 гг.]. В опубликованных работах Петухова А.А. и Шалгинова Р.В. (2006...2010 гг.) приводятся методы расчёта усилия вдавливания инъектора и несущей способности инъекционных свай в глинистых грунтах (преимущественно, в супесях пластичных, суглинках мягкопластичных). Однако, предложенные методы не учитывают в полной мере как конструктивных особенностей инъектора, так и особенностей деформирования слабых глинистых грунтов в процессе устройства и последующей работы инъекционных свай, что приводит к значительным расхождениям расчётных и экспериментальных данных (расхождения до $\pm 35\%$). Кроме того, разработанные методы расчёта несущей способности инъекционных свай не позволяют использовать материалы статического зондирования грунтов.

Цель исследований – развитие методов расчёта инъекционных свай в слабых глинистых грунтах, обеспечивающих надёжность их эксплуатации в составе фундаментов реконструируемых зданий.

Задачи исследования:

1. Исследовать опыт применения инъекционных свай в слабых глинистых грунтах для усиления фундаментов реконструируемых зданий.

2. Выполнить экспериментальные исследования работы и устройства инъекционных свай в слабых глинистых грунтах.

3. Усовершенствовать метод расчёта усилия вдавливания инъектора инъекционных свай в слабые глинистые грунты, позволяющий подбирать вдавливающее оборудование для его погружения на заданную глубину.

4. Развить метод расчёта несущей способности инъекционных свай в слабых глинистых грунтах с учётом технологии их устройства.

5. Усовершенствовать конструкцию инъектора и способ устройства инъекционных свай в слабых глинистых грунтах, обеспечивающие качественное формирование бетонного ствола сваи.

6. Выполнить опытно-промышленную апробацию результатов исследований для фундаментов реконструируемых зданий.

Объект исследования – инъекционная свая, устраиваемая в слабых глинистых грунтах путём нагнетания под давлением подвижной бетонной смеси через инъектор в предварительно подготовленную скважину.

Предмет исследований – взаимодействие инъекционной сваи со слабым глинистым грунтом основания на этапе её устройства и работы под нагрузкой.

Научная новизна исследований:

1. В результате сопоставления выполненных экспериментальных исследований и существующих аналитических решений установлена зависимость между усилием вдавливания инъектора $N_{вд}$ и вертикальной составляющей силы предельного сопротивления грунта N_u под нижним концом инъектора при его статическом нагружении. Полученные результаты позволили усовершенствовать метод расчёта усилия вдавливания инъектора $N_{вд}$ инъекционных свай в слабые глинистые грунты.

2. В результате анализа данных экспериментальных исследований и численного моделирования, выявлено, что при устройстве инъекционной сваи происходит улучшение условий работы слабого глинистого грунта на её боковой поверхности, обусловленное формированием волнообразной (неровной) поверхности ствола сваи и образованием цементно-грунтовой рубашки на границе «свая-грунт» при радиальном расширении скважины давлением бетонной смеси. Это позволило уточнить значения коэффициента условий работы грунта γ_{cf} на боковой поверхности инъекционной сваи (в супесях пластичных и текучих $\gamma_{cf} = 1,25$; в суглинках текуче-пластичных $\gamma_{cf} = 1,05$), что даёт возможность использовать для расчёта несущей способности инъекционных свай характеристики грунтов, соответствующие природным значениям.

3. Усовершенствован метод расчёта несущей способности инъекционных свай F_d в слабых глинистых грунтах, позволяющий использовать данные о сопротивлении грунта вдавливанию инъектора $q_{вд}$ путём введения переходного коэффициента γ_{cR} между $q_{вд}$ и расчётным сопротивлением грунта под нижним концом инъекционной сваи $R_{нк}$. Выявлено, что при значениях $q_{вд}$ меньше 3500 кПа (что характерно для слабых глинистых грунтов) коэффициент γ_{cR} изменяется от 0,75 до 1,0.

4. Обоснована возможность использования результатов статического зондирования грунтов для определения несущей способности инъекционных свай. Экспериментально установлено, что несущая способность инъекционных свай по результатам статического зондирования, меньше фактической (до 16%). Это объясняется улучшением условий работы грунта на боковой поверхности инъекционных свай при расширении скважины. Усовершенствован метод расчёта несущей способности инъекционных свай по результатам статического зондирования путём введения коэффициентов условий работы γ_{cf} .

Теоретическая значимость работы заключается в следующем: установлена зависимость между усилием вдавливания инъектора и силой предельного сопротивления грунта под нижним концом инъектора при его статическом нагружении; усовершенствован метод расчёта усилия вдавливания инъектора инъекционной свай в слабые глинистые грунты; усовершенствован метод расчёта несущей способности инъекционной свай в слабых глинистых грунтах, позволяющий использовать как материалы статического зондирования, так и усилия вдавливания (сопротивления грунта вдавливанию) инъектора в грунт.

Практическое значение работы заключается: в получении результатов, позволяющих выполнить расчёт и конструирование инъекционных свай в слабых глинистых грунтах, включая подбор требуемого оборудования для вдавливания инъекторов; в обосновании возможности использования результатов статического зондирования слабых глинистых грунтов для определения несущей способности инъекционных свай; в обосновании возможности использования усилия вдавливания (сопротивления грунта вдавливанию) инъекторов для операционного контроля несущей способности инъекционных свай в процессе их устройства; в разработке конструктивного решения инъектора инъекционной свай, позволяющего применять для устройства инъекционных свай бетонные смеси с крупностью заполнителя до 20...40 мм (патент РФ на полезную модель № 87718, приоритет от 11.01.2009 г.); в разработке способа устройства инъекционной свай в слабых глинистых грунтах, позволяющего вести бетонирование (снизу вверх) через извлекаемый бетонолитный рукав (патент РФ на полезную модель № 129522 от 15.01.2013 г.).

Результаты исследований использованы: при написании книги «Справочник геотехника: основания, фундаменты и подземные сооружения» / Под общей редакцией В.А. Ильичева и Р.А. Мангушева. Параграф 16.5.3 - Определение усилия вдавливания инъектора инъекционных свай при проектировании усиления фундаментов (соавтор А.И. Полищук); - М.: Изд-во АСВ, 2014. С. 650 – 653; при разработке проектной документации на усиление фундаментов реконструируемых, восстанавливаемых зданий в г. Томске (здание жилого дома по ул. Ленина, 70; здание жилого дома по ул. Усова, 37а; административно-хозяйственного здания на пл. Соляной, 2; здание многоуровневого гаражного комплекса по ул. Говорова, 29); в Томском государственном архитектурно-строительном университете (ТГАСУ) при чтении лекций, проведении практических занятий и дипломном проектировании для студентов специальности «Промышленно-гражданское строительство», а также для студентов-бакалавров и студентов-магистрантов, обучающихся по направлению «Строительство».

Методология и методы исследований.

- Изучение имеющихся в научной литературе данных по устройству и работе инъекционных свай в глинистых грунтах для условий реконструкции зданий и сооружений. Анализ существующих нормативов методик инженерных методов расчёта свай, устраиваемых по схожим технологиям.
- Экспериментальные исследования устройства и работы инъекционных свай в слабых глинистых грунтах; обобщение и анализ полученных данных. Численное моделирование работы инъекционных свай в слабых глинистых грунтах.
- Сопоставление результатов теоретических исследований с данными, полученными при проведении собственных экспериментальных исследованиях, экспериментальных исследований других учёных, а также численном моделировании. Апробация результатов исследований автора при усилении фундаментов реконструируемых зданий.

Положения, выносимые на защиту:

1. Результаты исследований зависимости между усилием вдавливания инъектора $N_{вд}$ и вертикальной составляющей силы предельного сопротивления грунта под нижним концом инъектора N_u при его статическом нагружении.
2. Метод расчёта усилия вдавливания инъектора $N_{вд}$ инъекционных свай в слабые глинистые грунты, позволяющий подбирать для его погружения вдавливающее оборудование с требуемыми параметрами.
3. Обоснование возможности использования результатов статического зондирования грунтов для определения несущей способности инъекционных свай.
4. Метод расчёта несущей способности F_d инъекционной сваи по результатам статического зондирования слабых глинистых грунтов.
5. Результаты исследований изменения переходного коэффициент γ_{cR} в зависимости от сопротивления грунта $q_{вд}$ под нижним концом инъектора при его вдавливании.

Область исследований соответствует паспорту специальности 05.23.02 – Основания и фундаменты, подземные сооружения, пункт 5 – «Разработка новых методов расчёта, высокоэффективных конструкций и способов устройства оснований и фундаментов в особых инженерно-геологических условиях: на слабых, насыпных, просадочных, засоленных, набухающих, закарстованных, вечномёрзлых, пучинистых и других грунтах» и п. 7 – «Разработка новых методов расчёта, конструирования и устройства оснований, фундаментов и подземных сооружений при реконструкции, усилении и ликвидации аварийных ситуаций».

Степень достоверности и апробация работы. Достоверность сформулированных в диссертации научных положений и выводов обеспечена сопоставлением результатов теоретических исследований с результатами экспериментов. Достоверность экспериментальных исследований достигнута применением современных поверенных и аттестованных приборов и оборудования, а также проведением натурных испытаний в объёме, достаточном для анализа полученных результатов. Апробация работы. Основные положения диссертационной работы обсуждались на 65-й, 66-й, 67-й и 70-й научно-технических конференциях в Новосибирском государственном архитектурно-строительном университете (Сибстрин, г. Новосибирск, 2007 – 2013 гг.); на университетской научно-практической конференции

студентов, аспирантов и молодых учёных: «Знания, умения, навыки – путь к созданию новых инженерных решений» в Томском политехническом университете (г. Томск, 2007 г.); на Всероссийской научно-практической конференции: «Актуальные проблемы строительства, экологии и энергосбережения в условиях Западной Сибири» в Тюменском государственном архитектурно-строительном университете (г. Тюмень, 2009 г.); на Международной научно-технической конференции «Механика грунтов в геотехнике и фундаментостроении» в Южно-Российском государственном политехническом университете (г. Новочеркасск, 2015 г.); на научном семинаре кафедры «Основания и фундаменты» в Кубанском государственном аграрном университете (г. Краснодар, 2012 г.); на научных семинарах кафедры «Основания, фундаменты и испытания сооружений» Томского государственного архитектурно-строительного университета (г. Томск, 2006 – 2015 гг.); В полном объёме диссертационная работа доложена на научном семинаре кафедры «Геотехника» СПбГАСУ (г. Санкт-Петербург, 2015 г.) и на межкафедральных семинарах ТГАСУ (г. Томск, 2015 г.), КубГАУ (г. Краснодар, 2015 г.).

Публикации. По теме диссертационной работы опубликовано 17 научных работ, включая 3 публикации в ведущих рецензируемых научных журналах и изданиях, три патента РФ на полезную модель.

Структура и объем диссертационной работы. Диссертация состоит из введения, четырёх глав, заключения, списка литературы и приложений. Общий объем работы составляет 139 страниц, включая 49 рисунков и 14 таблиц. Список литературы содержит 113 наименований. В приложении приведены две справки о внедрении результатов исследований.

Во введении обоснована актуальность работы, научная новизна и практическая значимость; приведён личный вклад автора, основные защищаемые положения, сведения об апробации, структуре и объёме диссертации.

В первой главе выполнен обзор способов устройства инъекционных свай для усиления фундаментов реконструируемых зданий и анализ исследований их работы в глинистых грунтах.

Во второй главе приведены результаты экспериментальных исследований устройства и работы инъекционных свай, на основе которых усовершенствован метод расчёта усилия вдавливания инъектора в слабые глинистые грунты.

В третьей главе, на основе экспериментальных данных и численного моделирования инъекционных свай в слабых глинистых грунтах, усовершенствованы методы расчёта несущей способности инъекционных свай.

В четвертой главе рассмотрены вопросы совершенствования конструктивных решений инъектора и способа устройства инъекционных свай в слабых глинистых грунтах. Приведено практическое применение результатов диссертационной работы при усилении фундаментов реконструируемых зданий. Намечены направления дальнейших исследований.

Автор выражает искреннюю благодарность научному руководителю Заслуженному строителю РФ, д.т.н., профессору А.И. Полищуку за постоянные консультации и содействие в выполнении работы. Соискатель признателен всем сотрудникам кафедры «Основания, фундаменты и испытания сооружений» ТГАСУ (г. Томск) за поддержку выбранного направления исследований и внимание к диссертационной работе.

II ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ ДИССЕРТАЦИИ, ВЫНОСИМЫЕ НА ЗАЩИТУ

1. В результате сопоставления выполненных экспериментальных исследований и существующих аналитических решений установлена зависимость между усилием вдавливания иньектора $N_{вд}$ и вертикальной составляющей силы предельного сопротивления грунта N_u под нижним концом иньектора при его статическом нагружении. Полученные результаты позволили усовершенствовать метод расчёта усилия вдавливания иньектора $N_{вд}$ иньекционных свай в слабые глинистые грунты.

На основе результатов экспериментальных исследований автором усовершенствован метод расчёта усилия вдавливания иньектора $N_{вд}$ в зависимости от его диаметра, глубины погружения и физико-механических характеристик глинистого грунта.

Экспериментальные исследования выполнялись при усилении фундаментов реконструируемого здания и включали устройство 12-ти натуральных иньекционных свай (С-1...С-12) длиной 4,0-5,0 м на площадке, сложенной глинистыми грунтами - супесями от пластичной до текучей консистенции и суглинками текучими. Каждая устраиваемая свая (С-1...С-12) состояла из металлического иньектора и бетонного ствола. Иньектор выполнялся из перфорированной составной стальной трубы диаметром 108 мм и наконечника в виде стального диска диаметром 188 мм (рис. 1). В зависимости от длины устраиваемой сваи, иньектор состоял из 8 - 10 секций длиной по 0,5...0,6 м каждая, наращиваемых в процессе их погружения. Секции соединялись между собой сваркой. Верхняя секция выполнялась из трубы без перфорации для последующего устройства тампонажа. Погружение иньектора осуществлялось из заранее устроенного шурфа глубиной 1,7...2,0 м специальным гидравлическим цилиндром с маслонасосной станцией. Непосредственно в процессе погружения иньектора выполнялась регистрация изменения усилия вдавливания по манометру. После погружения иньектора до проектной отметки устраивался тампонаж устья скважины. Затем через иньектор осуществлялось нагнетание (иньекция) под давлением подвижной бетонной смеси, что приводило к осесимметричному расширению скважины в радиальном направлении до 210...230 мм.

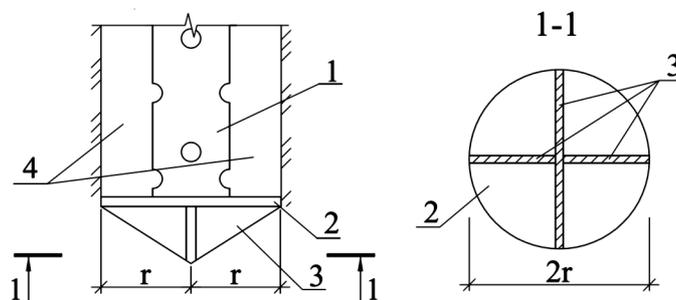


Рисунок 1 – Конструктивное решение наконечника иньектора: 1 – иньекторная труба; 2 - уширение в уровне нижнего конца иньектора в виде стального диска радиусом r ; 3 - ребро жёсткости; 4 – воздушный зазор между иньекторной трубой и стенкой скважины, впоследствии заполняемый бетоном

В ходе проведения экспериментальных исследований были получены следующие результаты:

- отработан способ устройства инъекционных свай в слабых глинистых грунтах;
- экспериментально установлены усилия вдавливания 12-ти инъекторов инъекционных свай (С-1...С-12) при глубине их погружения от 1,7 м до 6,7 м (всего зафиксировано 80 точек усилия вдавливания);
- экспериментально установлена несущая способность двух натуральных инъекционных свай С-7 и С-12 в соответствии с требованиями ГОСТ 5686-2012 – Грунты. Методы полевых испытаний сваями;
- разработано конструктивное решение узла сопряжения инъекционной сваи с железобетонным ленточным ростверком.

При разработке метода расчёта усилия вдавливания за основу было взято положение, согласно которому сопротивление глинистого грунта вдавливанию инъектора происходит только в уровне его нижнего конца (под остриём), а силы трения грунта по боковой поверхности инъектора отсутствуют, либо малы и в расчётах не учитываются. Это обосновано тем, что при погружении инъектора рассматриваемой конструкции, между инъекторной трубой и грунтом образуется воздушный зазор, впоследствии заполняемый бетоном (рис. 1).

С изменением внешней нагрузки (вдавливающего усилия) состояние грунта под нижним концом инъектора изменяется. Вначале, при нагрузке меньше начальной критической, под нижним концом инъектора развивается процесс уплотнения грунта. Частицы грунта перемещаются преимущественно вниз вдоль вертикальной оси инъектора. С ростом нагрузки под нижним концом инъектора формируются зоны сдвигов (зоны пластических деформаций) и происходит вытеснение грунта в стороны от его вертикальной оси. Дальнейшее увеличение нагрузки до предельной критической приводит к потере устойчивости грунта под нижним концом инъектора, что характеризуется значительным ростом перемещений (осадки) инъектора без существенного увеличения внешней нагрузки [по Н.А. Цытовичу, 1963 г.]. Следовательно, за усилие вдавливание инъектора может быть принято такое значение внешней продольной силы, при котором происходит потеря устойчивости грунта под его нижним концом. Тогда, учитывая конструктивные особенности инъектора, его погружение можно рассматривать как вдавливание штампа в дно заранее устроенной скважины (рис. 2).

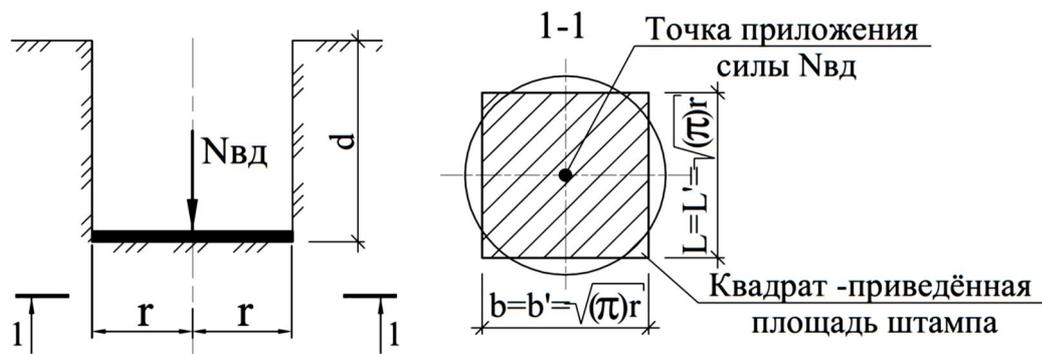


Рисунок 2 – Расчётная схема для определения усилия вдавливания $N_{вд}$ инъектора

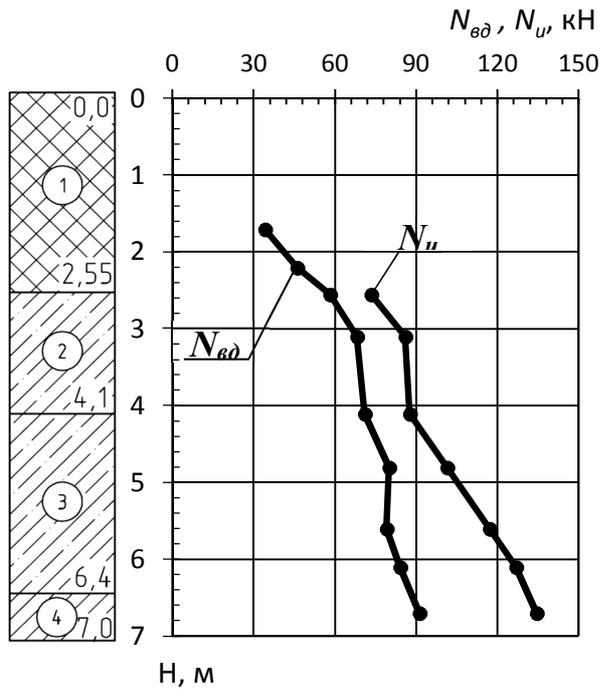


Рисунок 3 – Сопоставление экспериментальных значений $N_{вд}$ (инъекторы С-1...С-12) с N_u : 1 – насыпной грунт; 2 – супесь пластичная; 3 – супесь текучая; 4 – суглинок текучий

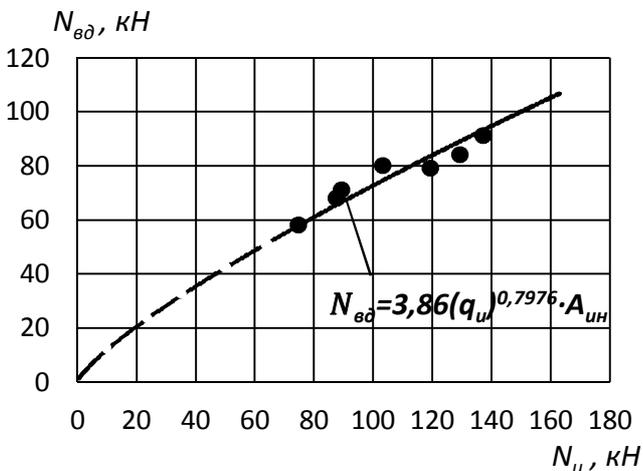


Рисунок 4 – Зависимость между изменением усилия вдавливания $N_{вд}$ инъектора (С-1...С-12) и силой предельного сопротивления грунта N_u под нижним концом инъектора при его статическом нагружении

Усилие $N_{вд}$, необходимое для вдавливания инъектора, может быть определено аналогично силе предельного сопротивления основания N_u под круглым жёстким штампом, сложенного дисперсными грунтами (например, с использованием рекомендаций нормативных документов СП 22.13330.2011 и СНиП 2.02.01-83*) с учётом снижения прочностных характеристик слабых глинистых грунтов, вследствие их перехода в нестабилизированное состояние и разрушения структурного каркаса.

Это предположение подтвердилось при сопоставлении экспериментальных значений усилия вдавливания инъектора $N_{вд}$ в слабый глинистый грунт с расчётной силой предельного сопротивления грунта N_u под нижним концом инъектора при его статическом нагружении. Установлено, что значения N_u превышают $N_{вд}$ на 20...50% (рис. 3), при этом, с увеличением глубины погружения инъектора расхождение между $N_{вд}$ и N_u возрастает.

По результатам обработки экспериментальных данных о вдавливании инъектора в слабые глинистые грунты была получена зависимость (рис. 4) между усилием вдавливания $N_{вд}$, и вертикальной составляющей силы предельного сопротивления грунта под нижним концом инъектора N_u , которую можно записать в следующем виде:

$$N_{вд} = 3,86(q_u)^{0,7976} \cdot A_{ин}, \quad (1)$$

где $q_u = \frac{N_u}{A_{ин}}$ - предельное сопротивление грунта под нижним концом инъектора при его статическом нагружении, кПа; $N_u = \pi r^2 [N_\gamma \xi_\gamma (\sqrt{\pi} r) \gamma +$

$N_q \xi_q \gamma' d + N_c \xi_c c]$ – в вертикальная составляющая силы предельного сопротивления грунта под нижним концом инъектора при его статическом нагружении, определяемая по СП 22.13330.2011, кН; $A_{ин} = \pi r^2$ – площадь уширения нижнего конца

инъектора, m^2 ; $\sqrt{\pi r}$ – размер стороны приведённой площади нижнего конца инъектора, м; N_γ , N_q , N_c – коэффициенты несущей способности грунта при вертикальной вдавливающей нагрузке по СП 22.13330.2011.

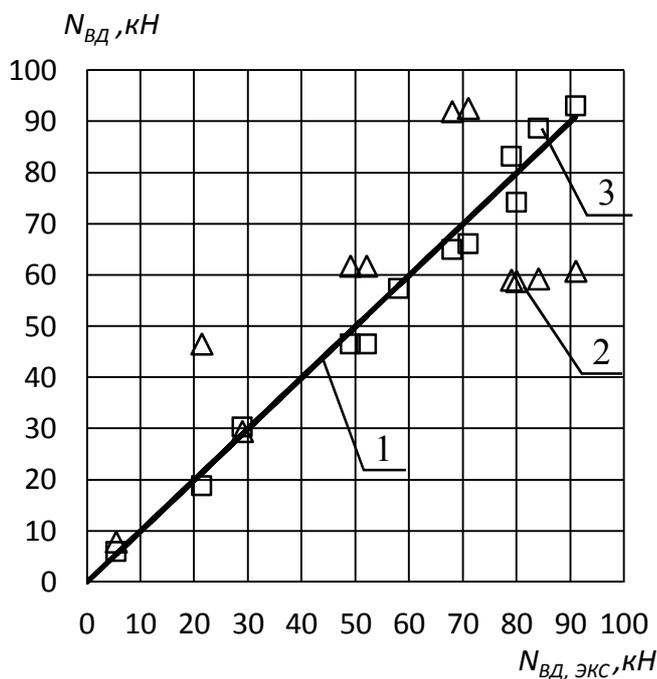


Рисунок 5 – Сравнение результатов расчёта усилия вдавливания ($N_{вд}$) инъекторов с данными экспериментов ($N_{вд, экс}$): 1 – линия абсолютной сходимости; 2 – расчёт $N_{вд}$ по Шалгинову Р.В. (2010 г.); 3 – расчёт $N_{вд}$ по формуле (1)

(рис. 5), отклонения не превышают 12%.

Таким образом, сравнение экспериментальных и расчётных данных позволяет обосновать возможность использования предложенного метода для определения усилия вдавливания инъектора в слабые глинистые грунты.

2. В результате анализа данных выполненных экспериментальных исследований и численного моделирования, выявлено, что при устройстве инъекционной сваи происходит улучшение условий работы слабого глинистого грунта на её боковой поверхности, обусловленное формированием волнообразной (неровной) поверхности ствола сваи и образованием цементно-грунтовой рубашки на границе «свая-грунт» при радиальном расширении скважины давлением бетонной смеси. Это позволило уточнить значения коэффициента условий работы грунта γ_{cf} на боковой поверхности инъекционной сваи (в супесях пластичных и текучих $\gamma_{cf} = 1,25$; в суглинках текучепластичных $\gamma_{cf} = 1,05$), что даёт возможность использовать для расчёта несущей способности инъекционных свай характеристики грунтов, соответствующие природным значениям.

С использованием формулы (1) были выполнены расчёты усилий вдавливания инъектора $N_{вд}$ в слабый глинистый грунт, которые сопоставлялись с экспериментальными данными автора (рис. 5). Кроме того, для проверки достоверности расчётов по формуле (1) были использованы результаты экспериментальных исследований вдавливания инъекторов других авторов (Петухова А.А. и Шалгинова Р.В. под общим научным руководством Полищука А.И. в 2003...2006 гг., далее – архивные данные), устроенных на строительных площадках, сложенных глинистыми грунтами мягкопластичной – текучей консистенции с коэффициентом водонасыщения 0,8 и более.

В результате было установлено, что расчётные значения усилий вдавливания $N_{вд}$ инъекторов, полученных по формуле (1), имеют удовлетворительную сходимость с экспериментами

По условиям работы в грунте рассматриваемые инъекционные сваи являются висячими (сваями трения). Следовательно, их несущая способность может быть условно разделена на несущую способность грунта под нижним концом сваи и по боковой поверхности:

$$F_d = F_{нк} + F_{бок}, \quad (2)$$

где $F_{нк}$ - сопротивление грунта (несущая способность грунта) под нижним концом сваи; $F_{бок}$ - сопротивление грунта (несущая способность грунта) по боковой поверхности сваи.

Для совершенствования метода расчёта несущей способности инъекционной сваи F_d слагаемые, входящие в формулу (2), необходимо оценивать отдельно. Определение слагаемых, входящих в формулу (2), путём проведения натуральных экспериментов, связано с большими трудностями (например, изготовление и устройство тензометрических свай, либо проведению других экспериментов). Поэтому, для отдельного определения несущей способности инъекционных свай было выполнено численное моделирование их работы в программном комплексе «Plaxis 3D». Для этого инъекционная свая моделировалась составной, в виде жёсткой поллой трубы и наконечника на её нижнем конце. Наконечник моделировался в виде круглого жёсткого штампа. Применение такой модели сваи позволило отдельно оценивать нагружение её нижнего конца и боковой поверхности.

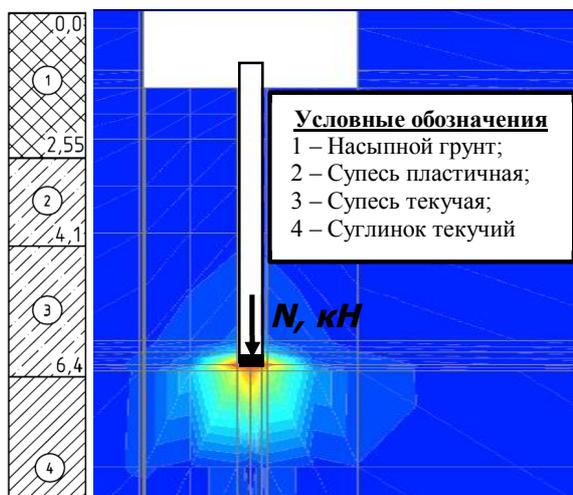


Рисунок 6 – Результаты моделирования работы грунта под нижним концом инъекционных свай в «Plaxis 3D»

При моделировании работы инъекционных свай применялась упругопластическая модель Мора-Кулона. Принятые при моделировании геометрические размеры свай и инженерно-геологические условия площадок соответствовали данным экспериментальных исследований. Размеры массива грунта принимались такими, при которых дальнейшее его увеличение не приводило к изменению зависимостей осадок инъекционных свай от нагрузок более чем на 0,5 мм. В ходе исследований было смоделировано совместное нагружение грунта под нижним концом и по боковой поверхности, а также нагружение грунта только под нижним концом (раздельное нагружение) инъекционных свай (рис. 6).

При этом, характеристики грунтов на боковой поверхности сваи в «Plaxis 3D» условно принимались равными природным значениям. Это связано с ограничениями программного комплекса «Plaxis 3D» по моделированию процесса расширения скважины инъекционной сваи (формирования бетонного ствола) давлением, превышающим значения предельной прочности грунтов.

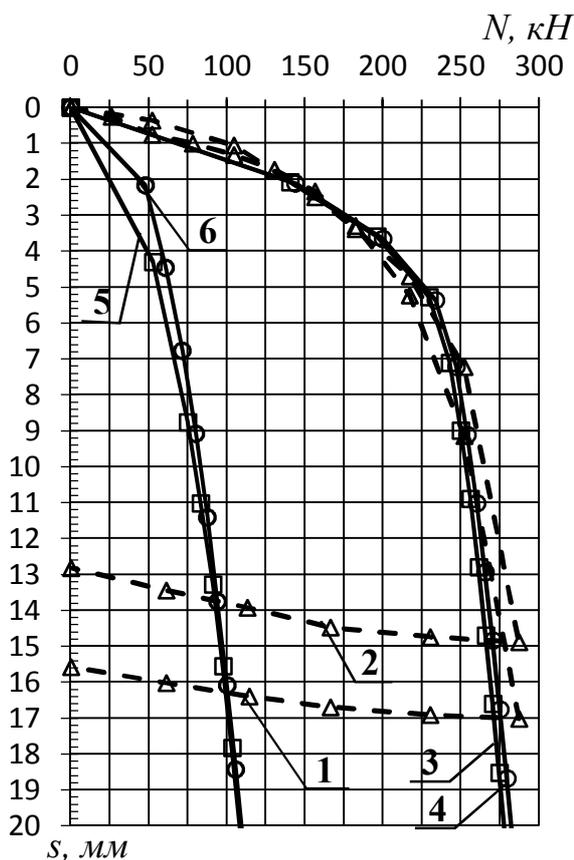


Рисунок 7 – Зависимость $s=f(N)$:
 1, 2 – соответственно, натурные испытания свай С-7, С-12; 3, 4 – численное моделирование совместной работы свай С-7, С-12; 5, 6 – численное моделирование нижнего конца свай С-7 и С-12

работы грунта на границе «натурная свая-грунт» за счёт формирования волнообразной формы ствола натуральных свай и образования цементно-грунтовой рубашки при радиальном расширении скважины давлением бетонной смеси, а также с процессами фильтрации. Кроме того, установлено (рис. 7), что при достижении осадки 5...7 мм, графикис $s=f(N)$, полученные в «Plaxis 3D» для случаев совместного и раздельного (нижнего конца) нагружения, становятся параллельными. Это соответствует представлениям о сдвиговой осадке и работе сваи в глинистом грунте, предложенным Б.И. Далматовым и Ф.К. Лапшиным (1966 г.).

Таким образом, анализ результатов численного моделирования и их сопоставление с натурными экспериментами свидетельствует о возможности применения предложенного подхода к раздельному моделированию работы грунта под нижним концом и на боковой поверхности инъекционных свай.

Несущую способность инъекционной сваи по боковой поверхности $F_{бок}$ можно определить, как:

Результаты численного моделирования совместного нагружения сопоставлялись с данными натурных испытаний свай.

По результатам выполненных расчётов были построены графики осадок свай s (рис. 7) в зависимости от прикладываемой нагрузки $s=f(N)$ для случаев совместной работы грунта под нижним концом и на боковой поверхности, а также работы грунта только под нижним концом инъекционной сваи (9 свай). За критерий несущей способности грунта принималась нагрузка, при которой её осадка достигала значений, полученных при проведении натурных испытаний. Данный критерий используется не только автором работы, но и другими специалистами [Ю.М. Шеменков и А.О. Глазычев, 2012 г. и др.].

Сопоставлении графиков $s=f(N)$ при совместной работе грунта под нижним концом и на боковой поверхности, полученных при проведении натурных испытаний и при численном моделировании, показало, что они имеют хорошую сходимость (рис. 7). При этом, незначительно занижение несущей способности инъекционных свай, полученное в «Plaxis 3D», связано с улучшением условий

$$F_{\text{бок}} = f \cdot h \cdot u, \quad (3)$$

где f - сопротивление околосовайного грунта на боковой поверхности сваи после расширения скважины кПа; u - периметр сваи, м; h - толщина слоя грунта, соприкасающегося с боковой поверхностью, м.

Для определения характеристик околосовайного грунта после расширения скважины давлением бетонной смеси, необходимо проведение специальных исследований, которые обычно не входят в стандартный комплекс инженерно-геологических изысканий (коэффициенты фильтрации, Пуассона, бокового давления и др.). Кроме того, процесс нахождения сопротивления грунта по боковой поверхности инъекционной сваи усложняет наличие волнообразной (неровной) поверхности её ствола и перемешивание грунта в непосредственной близости от сваи с «цементным молоком». Поэтому, было решено сопротивление грунта на боковой поверхности f определять с использованием характеристик грунта природного сложения, а увеличение несущей способности инъекционной сваи на боковой поверхности $F_{\text{бок}}$ учитывать коэффициентом условия работы грунта γ_{cf} .

Тогда, коэффициент условий работы γ_{cf} грунта на боковой поверхности инъекционной сваи будет определяться по формуле:

$$\gamma_{cf} = \frac{F_{\text{бок},pl}}{F_{\text{бок}}} \quad (4)$$

где $F_{\text{бок},pl}$ – несущая способность сваи по боковой поверхности, определённая как разность между общей несущей способностью сваи по грунту F_d , полученной экспериментально, и несущей способностью под нижним концом сваи $F_{нк}$, полученной численно; $F_{\text{бок}} = u \sum [(\sigma_{zi} \xi_i tg \varphi_i + c_i) h_i]$ – сопротивление грунта на боковой поверхности сваи, полученное при его природных характеристиках; u - наружный периметр инъекционной сваи, м; h_i - толщина i -го слоя грунта соприкасающегося с боковой поверхностью сваи, м; σ_{zi} - напряжения от собственного веса грунта, расположенного выше i -го слоя; $tg \varphi_i$ - коэффициент внутреннего трения i -го слоя грунта; ξ_i – коэффициент бокового давления i -го слоя грунта; c_i - удельное сцепление i -го слоя грунта.

Анализ результатов, полученных по формуле (4), показал, что значения коэффициента γ_{cf} , колеблются от 1,04 до 1,5. При этом, в слабых глинистых грунтах наибольшая сходимость экспериментальных и расчётных данных, при наименьшем среднеарифметическом и среднеквадратичном отклонении, достигается при значениях коэффициента $\gamma_{cf} = 1,25$ для пластичных – текучих супесей и 1,05 – для текучепластичных суглинков. Отличия в значении коэффициентов γ_{cf} для суглинков и супесей, можно объяснить более высокими фильтрационными характеристиками последних.

3. Усовершенствован метод расчёта несущей способности инъекционных свай F_d в слабых глинистых грунтах, позволяющий использовать данные о сопротивлении грунта вдавливанию инъектора $q_{вд}$ путём введения переходного коэффициента $\gamma_{сR}$ между $q_{вд}$ и расчётным сопротивлением грунта под нижним концом инъекционной сваи $R_{нк}$. Выявлено, что при значениях $q_{вд}$

меньших 3500 кПа (что характерно для слабых глинистых грунтов) коэффициент γ_{CR} изменяется от 0,75 до 1,0.

При выполнении диссертационной работы была выявлена зависимость между сопротивлением грунта вдавливаю иньектора $q_{вд}$, полученным при проведении натуральных исследований, и расчётным сопротивлением грунта под нижним концом иньекционной сваи $R_{НК}$. Используя подход к определению несущей способности иньекционных свай по данным статического зондирования грунтов, расчётное сопротивление слабого глинистого грунта под нижним концом иньекционной сваи $R_{НК}$ может быть записана через сопротивление грунта вдавливаю иньектора $q_{вд}$ путем введения переходного коэффициента γ_{CR} . Тогда:

$$F_{НК} = R_{НК}A = \gamma_{CR}q_{вд}A, \quad (5)$$

где $R_{НК}$ – расчётное сопротивление грунта под нижним концом иньекционной сваи, кПа; $q_{вд} = \frac{N_{вд}}{A_{ин}}$ – сопротивление грунта под нижним концом иньектора при его вдавливании, кПа; $N_{вд}$ – усилие вдавливания иньектора, кН; $A_{ин}$ – площадь уширения нижнего конца иньектора, м²; A – площадь поперечного сечения иньекционной сваи, м²; γ_{CR} – переходной коэффициент от сопротивления грунта вдавливаю иньектора к сопротивлению грунта под нижним концом иньекционной сваи.

Исследования изменения коэффициентом γ_{CR} в зависимости от сопротивления грунта под нижним концом иньектора $q_{вд}$, выполненные автором работы, показали, что наибольшая сходимость при наименьшем среднеквадратичном отклонении достигается при использовании следующей аппроксимирующей функции:

$$\gamma_{CR} = -0,232Ln(q_{вд}) + 2,6346 \quad (6)$$

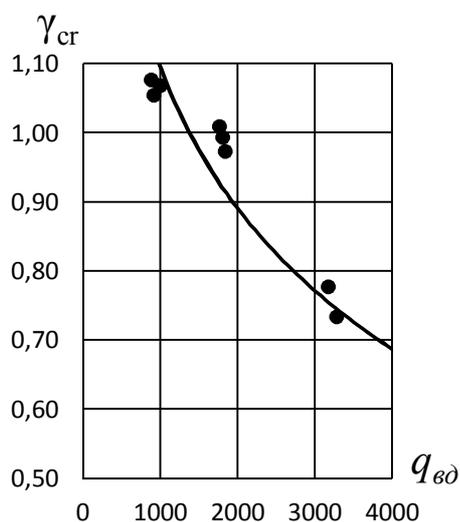


Рисунок 8 – Зависимость между переходным коэффициентом γ_{CR} и сопротивлением грунта вдавливаю иньектора $q_{вд}$

Выполненные расчёты показали, что, при сопротивлении грунта вдавливаю иньектора до $q_{вд} = 3500$ кПа, коэффициент γ_{CR} колеблется в пределах $\gamma_{CR} = 0,75 \dots 1,1$ (рис. 8). Однако, в слабых глинистых грунтах при скоростях погружения иньектора до 0,5...1,0 м/мин коэффициент γ_{CR} следует принимать не более 1,0, что согласуется с результатами исследований Э. Мензенбаха, Ж. Керезеля, А. Пека (1960-1970 гг.) и других, а также с данными, приведёнными в СП 24.13330.2011 для статического зондирования грунтов.

Окончательно формулу для определения несущей способности иньекционной сваи можно записать в виде:

$$F_d = F_{НК} + \gamma_{cf}u \sum[(\sigma_{zi}\xi_i tg\varphi_i + c_i) h_i], \quad (7)$$

где $F_{НК}$ – несущая способность грунта под нижним концом иньекционной сваи, определяемая по формуле (5); остальные обозначения те же, что и в формуле (4).

4. Обоснована возможность использования результатов статического зондирования грунтов для определения несущей способности инъекционных свай. Выявлено, что несущая способность инъекционных свай по результатам статического зондирования, меньше фактической (до 16%), что объясняется улучшением условий работы грунта на боковой поверхности инъекционных свай при расширении скважины. Усовершенствован метод расчёта несущей способности инъекционных свай по результатам статического зондирования путём введения коэффициентов условий работы γ_{cf} .

Одним из достоверных методов определения несущей способности забивных железобетонных свай F_d является метод, основанный на результатах статического зондирования грунтов. Однако, до настоящего времени такой подход при определении несущей способности инъекционных свай практически не применялся.

Сопоставление результатов расчётов несущей способности грунта под нижним концом инъекционных свай, полученных по материалам статического зондирования, вдавливания инъекторов и численного моделирования, показало, что они имеют близкие значения. Это подтверждает предположение об аналогичности процессов, происходящих в слабых глинистых грунтах под нижним концом забивных (вдавливаемых) и рассматриваемых инъекционных свай, а также свидетельствует об адекватности принятой расчётной модели инъекционной сваи в ПК «Plaxis 3D». Удовлетворительная сходимость результатов наблюдается и при сравнении значений переходных коэффициентов γ_{cr} и β_I (где β_I - коэффициент перехода от сопротивления грунта вдавливанию зонда к сопротивлению грунта под нижним концом сваи по СП 24.13330 2011), что соответствует результатам исследований Е. Д'Бира (E. De Beer, 1974 г.) о влиянии разницы диаметров зондов (инъекторов) на сопротивление грунта их вдавливанию (рис. 9).

При сравнении результатов расчёта несущей способности грунта на боковой поверхности по материалам статического зондирования с данными, полученными по экспериментальным исследованиям и численному моделированию, установлено, что несущая способность по эксперименту больше расчётной в 1,05...1,5 раза, что объясняется улучшением условий работы грунта на боковой поверхности инъекционных свай. Поэтому, при расчёте инъекционных свай по результатам статического зондирования, несущую способность грунта на боковой поверхности сваи необходимо умножать на коэффициент условий работы γ_{cf} . Введение коэффициента γ_{cf} позволяет уменьшить расхождение экспериментальных и расчётных данных. Следовательно, частное значение предельного сопротивления инъекционной сваи F_u в слабых глинистых грунтах в точке зондирования следует определять по формуле:

$$F_u = R_s A + \gamma_{cf} f h u \quad (8)$$

где γ_{cf} - коэффициент условий работы грунта на боковой поверхности сваи, равный 1,05 для суглинков текучепластичных, равный 1,25 для супесей пластичных-текучих; $R_s = q_s \beta_I$ - предельное сопротивление грунта под нижним концом сваи, определяемое по СП 24.13330.2011, кПа; f - среднее значение предельного

сопротивления грунта на боковой поверхности сваи по данным статического зондирования по СП 24.13330.2011, кН.

Обобщение полученных данных показало, что при расчёте несущей способности инъекционных свай по формулам (7) и (8) наблюдается удовлетворительная сходимость экспериментальных и расчётных данных (рис. 10). Однако при проектировании инъекционных свай для фундаментов реконструируемых зданий в слабых глинистых грунтах, предпочтение следует отдавать использованию результатов статического зондирования грунтов и расчёт вести по формуле (8) с учётом коэффициента условий работы грунта γ_{cf} на их боковой поверхности.

Следует отметить, что определение несущей способности инъекционной сваи через усилие вдавливания (сопротивление грунта вдавливанию) инъектора в слабых глинистых грунтах даёт возможность выполнять операционный контроль несущей способности инъекционных свай в процессе их устройства на строительной площадке. Кроме того, метод оценки несущей способности инъекционных свай с использованием усилия вдавливания инъектора можно применять при отсутствии данных статического зондирования грунтов.

Таким образом, сопоставление результатов экспериментальных и теоретических исследований работы инъекционных свай в слабых глинистых грунтах, анализ и обобщение полученных данных позволило усовершенствовать методы расчёта их несущей способности; установлено, что расхождение результатов расчётов с результатами натуральных испытаний инъекционных свай не превышают 15 %.

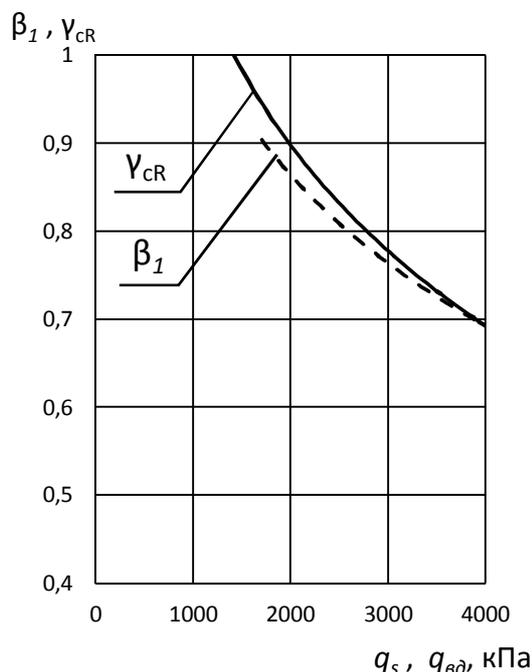


Рисунок 9 – Зависимость изменения переходных коэффициентов β_1 , и γ_{CR} от сопротивления грунта под нижним концом зонда или инъектора при их вдавливании

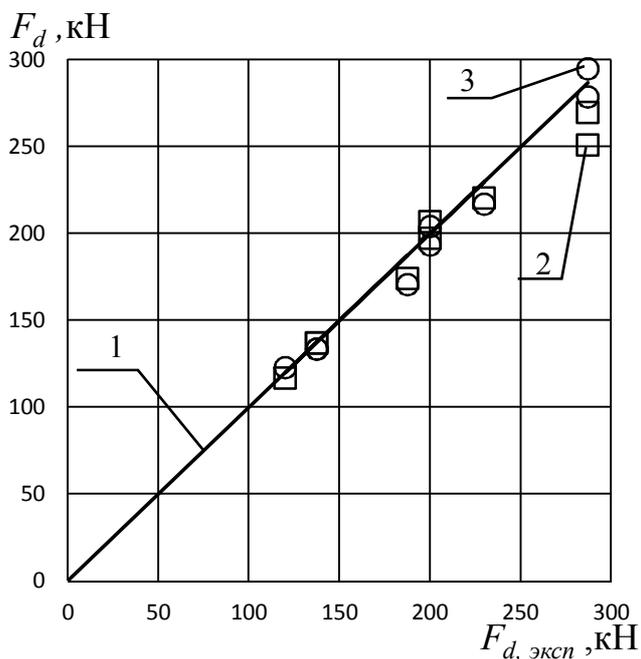


Рисунок 10 – Сопоставление данных экспериментальной и расчетной несущей способности инъекционных свай: 1 – линия абсолютной сходимости; 2 – по формуле (7) с использованием усилия вдавливания инъектора; 3 – по формуле (8) с учётом γ_{cf}

Накопленный опыт устройства инъекционных свай позволил выявить ряд ограничений, связанных с конструктивными особенностями инжектора из стальных перфорированных труб. К ним относятся: значительный расход металла на его изготовление, необходимость устройства перфорации и применения специальных мелкозернистых подвижных бетонных смесей. Для совершенствования конструктивного решения инжектора, используемого при устройстве инъекционных свай, разработана конструкция из стальных прокатных уголков, образующих квадрат в поперечном сечении, которые установлены на расстоянии 30...50 мм друг от друга и соединённые между собой с помощью стальных пластин (планок). В уровне нижнего конца инжектора устроено уширение в виде стального плоского круглого диска, диаметр которого превышает размеры его поперечного сечения ($D_{\text{ствола}}/D_{\text{ушир}} = 0,55...0,65$). Сечение стальных прокатных уголков инжектора определяется расчётом на прочность, а также устойчивость при его вдавливании. Использование инжектора из прокатных уголков позволяет применять для устройства инъекционных свай бетонные смеси с крупностью до 20...40 мм и уменьшить металлоёмкость конструкции по сравнению с инжекторами из труб. На конструктивное решение инжектора из стальных прокатных элементов получен патент РФ на полезную модель (2009 г.).

Одной из главных задач при устройстве инъекционных свай в слабых глинистых грунтах является быстрое оплывание стенок скважины после погружения инжектора и заполнение скважины грунтовым шламом и водой. Это приводит к тому, что при бетонировании ствола инъекционной сваи может происходить перемешивание подаваемого бетона с грунтовым шламом и водой. В итоге, получаемая свая имеет различную прочность бетона по длине ствола. С использованием инжектора из прокатных уголков был разработан способ устройства инъекционных свай в слабых глинистых грунтах, согласно которому бетонирование скважины осуществляется восходящим потоком (снизу вверх) через извлекаемый бетонолитный рукав, опускаемый к нижнему концу инжектора. Это позволяет вытеснить грунтовые воды и грунтовой шлам, поступившие в скважину при её устройстве и добиться качественного формирования бетонного ствола инъекционной сваи (рис. 11). После полного заполнения скважины однородным бетоном, бетонолитный рукав извлекается, а в верхней части инжектора устанавливается стопорная пластина. Затем выполняется подача дополнительного объёма бетонной смеси в скважину под давлением для её радиального расширения через патрубков специальной конструкции, соединённый с верхней секцией инжектора. На рассматриваемый способ получен патент РФ на полезную модель (2013 г.).

Апробация результатов исследований была выполнена при реконструкции четырёх объектов в г. Томске. При помощи инъекционных свай были выполнены усиления двух ленточных фундаментов жилых зданий (ул. Ленина, 70, ул. Усова, 37), двух свайных фундаментов (административно-хозяйственного корпуса по пл. Соляная, 2 и здания многоуровневого гаража по ул. Говорова, 29).

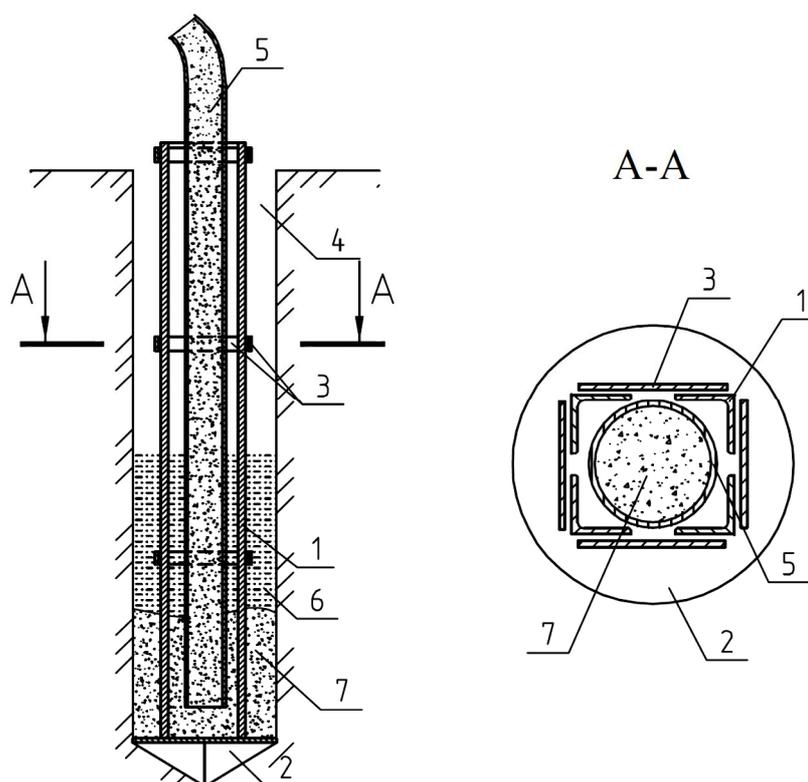


Рисунок 11 – Устройство инъекционной сваи при бетонировании восходящим способом: 1- иньектор из прокатных уголков; 2- наконечник; 3- соединительные пластины; 4- воздушный зазор; 5- бетонолитный извлекаемый рукав; 6- грунтовой шлам и вода, поступившие в скважину в процессе погружения иньектора; 7- подаваемая бетонная смесь

По результатам выполненной работы были намечены пути дальнейших исследований устройства и работы инъекционных свай, которые приведены в диссертации.

III ОБЩИЕ ВЫВОДЫ ПО РЕЗУЛЬТАТАМ ИССЛЕДОВАНИЙ

1. В результате сопоставления выполненных экспериментальных исследований и существующих аналитических решений установлена зависимость между усилием вдавливания иньектора $N_{вд}$ и вертикальной составляющей силы предельного сопротивления грунта N_u под нижним концом иньектора при его статическом нагружении. Полученные результаты позволили усовершенствовать метод расчёта усилия вдавливания иньектора $N_{вд}$ инъекционных свай в слабые глинистые грунты, необходимого для погружения иньектора на заданную глубину и формирования скважины инъекционной сваи требуемого диаметра. Расхождение результатов расчётных и экспериментальных данными усилия вдавливания иньектора в слабый глинистый грунт составляет не более 12%.

2. В результате анализа данных экспериментальных исследований и численного моделирования выявлено, что при устройстве инъекционной сваи происходит улучшение условий работы слабого глинистого грунта на её боковой поверхности, обусловленное формированием волнообразной (неровной) поверхности ствола

свай и образованием цементно-грунтовой рубашки на границе «свая-грунт основания» при радиальном расширении скважины давлением бетонной смеси.

3. Уточнены значения коэффициента условий работы грунта γ_{cf} на боковой поверхности инъекционной сваи (в супесях пластичных и текучих $\gamma_{cf} = 1,25$; в суглинках текучепластичных $\gamma_{cf} = 1,05$), что позволяет использовать для расчёта несущей способности F_d инъекционных свай характеристики слабых глинистых грунтов, соответствующие природным значениям.

4. Установлен переходной коэффициент γ_{cR} между сопротивлением грунта вдавливанию инъектора $q_{вд}$ и расчётным сопротивлением грунта под нижним концом инъекционной сваи $R_{нк}$, что позволяет использовать значения $q_{вд}$ для определения несущей способности F_d инъекционных свай. Выявлено, что при значениях $q_{вд}$ меньше 3500 кПа (что характерно для слабых глинистых грунтов) коэффициент γ_{cR} изменяется от 0,75 до 1,0. Возможность определения несущей способности F_d через усилие вдавливания (сопротивление грунта вдавливанию) инъектора позволяет выполнять операционный контроль несущей способности инъекционных свай в процессе их устройства на строительной площадке. Сопоставление расчётных (по формуле (7)) и экспериментальных значений несущей способности инъекционных свай в слабых глинистых грунтах показало, что расхождение составляет не более 15%.

5. Обоснована возможность использования результатов статического зондирования грунтов для определения несущей способности инъекционных свай. Выявлено, что несущая способность инъекционных свай по результатам статического зондирования, меньше фактической (до 16%). Это объясняется улучшением условий работы грунта на боковой поверхности инъекционных свай при расширении скважины. Усовершенствован метод расчёта несущей способности инъекционных свай по результатам статического зондирования путём введения коэффициентов условий работы γ_{cf} . Расхождение значений несущей способности инъекционных свай, полученных при их испытании статической вдавливающей нагрузкой, с данными расчёта по результатам статического зондирования не превышает 10 %.

6. Усовершенствованы конструктивное решение инъектора и способ устройства инъекционных свай в слабых глинистых грунтах, позволяющие применять бетонные смеси с крупностью заполнителя 20...40 мм, а также выполнять заполнение скважины восходящим способом (снизу вверх) через извлекаемый бетонный рукав, тем самым вытеснить грунтовой шлам и воду поступающие в скважину при её устройстве и добиться качественного формирования бетонного ствола инъекционной сваи.

СПИСОК ОПУБЛИКОВАННЫХ РАБОТ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ:

Публикации в изданиях, рекомендованных в ВАК:

1. Полищук А.И. Определение усилия вдавливания инъектора инъекционных свай в глинистых грунтах / А.И. Полищук, **А.А. Тарасов**, А.А. Петухов // Вестник ТГАСУ №2, 2013 г. – Томск, ТГАСУ. – 2013. – С. 346-354 (0,6 п.л./0,2 п.л.)

2. **Тарасов А.А.** О применении результатов статического зондирования для расчёта несущей способности инъекционных свай в слабых глинистых грунтах // Вестник гражданских инженеров № 5, 2015 г. – СПб, СПбГАСУ. – 2015. – С. 68-71 (0,25 п.л.)

3. **Тарасов А.А.** Совершенствование метода расчёта несущей способности инъекционных свай в слабых глинистых грунтах/ Тарасов А.А. // Вестник ТГАСУ № 5, 2015 г. – Томск, ТГАСУ. – 2015. – С. 225-233 (0,6 п.л.)

Публикации в других изданиях:

1. Полищук А. И. Использование инъекционных свай в глинистых грунтах для усиления свайных фундаментов административно-хозяйственного здания / А. И. Полищук, Р. В. Шалгинов, **А. А. Тарасов** // Актуальные проблемы строительства, экологии и энергосбережения в условиях Западной Сибири: сб. материалов Всерос. науч.-практ. конф. / Тюм. гос. арх.-стр. ун-т. – Тюмень, 2008.– С. 50-53 (0,25 п.л./0,08 п.л.)

2. Петухов А. А. Практическое использование инъекционных свай при реконструкции зданий в г. Томске / А. А. Петухов, Р. В. Шалгинов, **А.А. Тарасов** // Знания, умения, навыки – путь к созданию новых инженерных решений: материалы университетской науч.-практ. конф. студентов, аспирантов и молодых ученых, посвящ. 100-летию со дня рождения Никитина Н.В. – Томск : Изд-во Томского политех. ун-та, 2007. – С. 78-80 (0,19 п.л./0,06 п.л.)

3. Полищук А. И. Совершенствование способа устройства инъекционных свай / А. И. Полищук, Р. В. Шалгинов, **А. А. Тарасов** //Тезисы докладов 66-й научно-технической конференции / Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (СИБСТРИН). – Новосибирск, 2009. – с. 99-100 (0,125 п.л./0,04 п.л.)

4. Полищук А. И. Инъектор для устройства инъекционной сваи / Тезисы докладов 66-й научно-технической конференции / А.И. Полищук, А.А. Петухов, Р.В. Шалгинов, **А.А. Тарасов** // Новосибирский государственный архитектурно-строительный университет (СИБСТРИН). – Новосибирск, 2009. – с. 105-106 (0,125 п.л./0,03 п.л.)

5. Полищук А. И. Совершенствование конструкции инъектора для устройства инъекционных свай / А.И. Полищук, Р.В. Шалгинов, **А.А. Тарасов** // Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции «Актуальные проблемы строительства, экологии и энергосбережения в условиях Западной Сибири» / под общей редакцией д.т.н., проф. Шаповала А.Ф. и д.ф.-м.н., проф. Кутушева А.Г. – Тюмень: 2009. – с. 215-219 (0,25 п.л. /0,1 п.л.)

6. Полищук А. И. Инъекторы для устройства инъекционных свай / А.И. Полищук, А.А. Петухов, Р.В. Шалгинов, **А.А. Тарасов** // Материалы научно-практиче-

ской конференции «Современные технологии в строительстве», посвященной 50-летию кафедры «Строительного производства» ПГТУ. – Пермь, 2009. – С. 282-286 (0,25 п.л./0,08 п.л.)

7. Полищук А.И. Инженерный метод расчёта усилия вдавливания инъектора инъекционных свай в глинистых грунтах / А.И. Полищук А.А. Петухов, **А.А. Тарасов** // Материалы международной научно-практической конференции «Строительство: проблемы и перспективы», ДГИНХ – Махачкала, 2013 г. С. 117-119 (0,19 п.л./0,06 п.л.)

8. Справочник геотехника: Основания, фундаменты и подземные сооружения / Под общей ред. В.А. Ильичева и Р.А. Мангушева. Параграф 16.5.3. Определение усилия вдавливания инъектора инъекционных свай при проектировании усиления фундаментов / А.И. Полищук, **А.А. Тарасов** // М.: Изд-во АСВ, 2014. – С. 650-653 (0,25 п.л./0,12 п.л.)

9. Полищук А.И. Оценка несущей способности инъекционных свай по данным статического зондирования / А.И. Полищук, **А.А. Тарасов** // Материалы международной научно-технической конференции «Механика грунтов в геотехнике и фундаментостроении» ЮРГПУ. – Новочеркасск, 2015. – С. 419-424 (0,31 п.л./0,16 п.л.)

10. Полищук А.И. Усиление фундаментов административно-торгового здания при понижении отметок пола подвала / А.И. Полищук А.А. Петухов, **А.А. Тарасов** // Материалы международной научно-технической конференции «Механика грунтов в геотехнике и фундаментостроении» ЮРГПУ. – Новочеркасск, 2015. – С. 439-446 (1,06 п.л./0,35 п.л.)

11. Полищук А.И. Реконструкция подвальной части административно-торгового здания / А.И. Полищук, А.А. Петухов, **А.А. Тарасов** // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2015. – №2. – С. 130-160 (1,94 п.л./0,65 п.л.)

Патенты РФ на полезную модель:

1. Пат. № 85495 Российская Федерация, МПК7 Е 02 D 5/34. Конструкция инъектора для устройства инъекционной сваи / Полищук А. И., Шалгинов Р. В., **Тарасов А. А.**, Петухов А. А.; опубл. 10.08.09, Бюл. № 22. – 3 с (0,19 п.л./0,05 п.л.)

2. Пат. № 87718 Российская Федерация, МПК7 Е 02 D 5/34. Инъекционная свая / Полищук А. И., **Тарасов А. А.**, Шалгинов Р. В.; опубл. 20.10.09, Бюл. № 29. – 3 с (0,19 п.л./0,06 п.л.)

3. Пат. № 129522 Российская Федерация, МПК7 Е 02 D 5/34. Инъекционная свая для слабых глинистых грунтов / Полищук А. И., **Тарасов А. А.**; опубл. 15.01.13, бюл. 29. – 3 с (0,19 п.л./0,09 п.л.)

Подписано в печать 23.10.2015 г. Формат 60x84 1/16.

Бумага офсетная. Тираж 100 экз. Заказ № 330
Изд-во ТГАСУ, 634003, г. Томск, пл. Соляная, 2.
Отпечатано с оригинал-макета в ООП ТГАСУ;
634003, г. Томск, ул. Партизанская, 15.