

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 624.155.2:725

АЛЬ-ТАМИМИ
Саиф Сами Хуссейн

**НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ И УСТОЙЧИВОСТЬ ПЕСЧАНЫХ
ОСНОВАНИЙ КОРОТКИХ ВИНТОВЫХ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ СВАЙ
ПРИ ДЕЙСТВИИ ВДАВЛИВАЮЩЕЙ И ВЫДЕРГИВАЮЩЕЙ
НАГРУЗОК**

Автореферат диссертации
на соискание ученой степени кандидата технических наук
по специальности 05.23.02 – Основания и фундаменты,
подземные сооружения

Минск, 2017

Работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете.

Научный руководитель

КРАВЦОВ Владимир Николаевич,
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Геотехника и экология в строительстве», заведующий лабораторией конструкций и фундаментов РУП «Институт БелНИИС»

Официальные оппоненты:

ПОЙТА Петр Степанович,
доктор технических наук, профессор, ректор учреждения образования «Брестский государственный технический университет»;
КРЕМНЕВ Александр Павлович,
кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Строительные конструкции» учреждения образования «Полоцкий государственный университет»

Оппонирующая организация

ГП «Институт жилища – НИПТИС им. Атаева С. С.»

Защита состоится «05» октября 2017 г. в 14.⁰⁰ на заседании совета по защите диссертаций Д 02.05.09 при Белорусском национальном техническом университете по адресу: 220114, Минск, пр. Независимости, 150, корп. 15, ауд. 808. Телефон ученого секретаря 265-96-97, e-mail: nrak@bntu.by.

Отзывы на автореферат в двух экземплярах с подписью, заверенной печатью учреждения, следует направлять на имя ученого секретаря совета по адресу 220013, г. Минск, пр. Независимости, 65.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан «30» августа 2017 г.

Ученый секретарь
совета по защите диссертаций,
кандидат технических наук, доцент

Н. А. Рак

© Аль-Тамими С. С. Х., 2017

© Белорусский национальный
технический университет, 2017

ВВЕДЕНИЕ

Анализ мировой практики фундаментостроения показывает, что винтовые металлические сваи располагают большим резервом повышения производительности труда, снижения стоимости фундаментов и в полной мере соответствуют программам Министерства архитектуры и строительства Республики Беларусь в вопросах ресурсосбережения и инновационного развития строительства на 2011–2020 гг.

Приоритет винтовых металлических свай особенно заметен при их использовании в специфических грунтах, для объектов, передающих на фундаменты комбинированные нагрузки или требующих быстрого и надежного усиления (реконструкции) их оснований и конструкций, в частности, инженерных сооружений (вышки мобильной телефонной сети, опоры ЛЭП, радиомачты, мосты, переходы, эстакады), малоэтажных (жилые дома, коттеджи до 3-х этажей) и временных (склады, павильоны и др.) зданий. Особенно широкое распространение для указанных объектов за рубежом получили короткие винтовые металлические сваи. Однако, в Республике Беларусь они, до недавнего времени, использовались недостаточно активно из-за слабой их изученности и отсутствия, в связи с этим, достоверных методов расчета, учитывающих грунтовые особенности белорусского региона. Отклонения между результатами оценки несущей способности песчаных оснований коротких винтовых металлических свай, полученными по теоретическим методам и данными натурных испытаний, достигают 60 % как при вдавливающих, так и выдергивающих нагрузках [3]. Отсутствуют также эффективные конструкции и технологии (оборудование) для устройства коротких свай ВС, учитывающие технические возможности строительных организаций страны.

Народохозяйственные аспекты проблемы обусловили: необходимость комплексных исследований песчаных оснований коротких винтовых металлических свай (как наиболее распространенных в Республике Беларусь и Республике Ирак) для разработки на их основе новых конструкций, научных подходов к их расчету, проектированию, технологии изготовления, а так же тему, цель и задачи диссертационных исследований, направленные на выполнение строительных программ Республики Беларусь по ресурсосбережению в области фундаментостроения.

Результаты диссертационных исследований внедрены в геотехническую практику Республики Беларусь, что позволяет, по сравнению с традиционными решениями, снизить стоимость фундаментов на 20–30 % (большее значения для малопрочных и обводненных песков) [1, 6].

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с научными программами, темами

Научные исследования, приведенные в диссертационной работе, выполнены в рамках бюджетных тем:

– кафедры «Геотехника и экология в строительстве» Белорусского национального технического университета – ГБ 11-260: «Исследования связанные с внедрением в строительную практику европейских норм ТКП EN 1997-1–2009». Этап 3: «Выполнение динамических и статических испытаний свай и анкеров новой конструкции с учетом требований национальных и европейских норм, сопоставления расчетных и опытных данных, уточнение расчетных схем»;

– РУП «Институт БелНИИС» Минстройархитектуры Республики Беларусь: в рамках государственной научно-технической программы (ГНТП) Минстройархитектуры Республики Беларусь «Разработка и внедрение новых конструктивно-технологических систем, технологий и материалов, обеспечивающих энергоэффективность и ресурсосбережение в строительстве, реконструкции и эксплуатации зданий и сооружений, повышение потребительских свойств и конкурентоспособности продукции и услуг строительного комплекса Республики Беларусь» («Строительные конструкции, материалы и технологии») на 2011–2015 гг.

Цель и задачи исследования

Цель работы – совершенствование и внедрение конструкции, технологии изготовления и методов расчета несущей способности и устойчивости песчаных оснований коротких винтовых металлических свай (далее свай ВС), обеспечивающих снижение стоимости фундаментов.

Для достижения поставленной цели решались следующие основные задачи:

- 1 – комплексное изучение характера взаимодействия коротких свай ВС с песчаными грунтами Республики Беларусь при действии вдавливающей и выдергивающей нагрузок;
- 2 – разработка, на основе результатов выполненных исследований, экономических конструкций коротких свай ВС и технологии их изготовления;
- 3 – совершенствование методов расчета несущей способности и устойчивости песчаных оснований коротких свай ВС при действии вдавливающей и выдергивающей нагрузок;
- 4 – обоснование эффективной области использования коротких свай ВС в условиях Республики Беларусь;
- 5 – разработка предложений для включения в национальные нормативно-технические документы по проектированию и устройству коротких свай ВС, возводимых на песчаных основаниях Республики Беларусь.

Объект исследования – песчаные основания винтовых металлических свай.

Предмет исследования – несущая способность, деформативность и устойчивость песчаных оснований коротких свай ВС при действии вдавливающей и выдергивающей нагрузок.

Научная новизна

Научная новизна состоит в получении новых экспериментально и теоретически обоснованных данных, включающих в себя:

- новые экспериментальные результаты, впервые выполненных в белорусском регионе, комплексных исследований несущей способности, деформирования и устойчивости песчаных оснований коротких свай ВС при вдавливающих и выдергивающих нагрузках;
- установленные, на основе выполненных исследований, расчетные схемы песчаных оснований коротких свай ВС, уточняющие представление о характере и особенностях их взаимодействия с песком, в зависимости от критерия глубины заложения лопасти от поверхности планировки при вдавливающей и выдергивающей нагрузках;
- новое конструктивное решение коротких свай ВС, обеспечивающее снижение их себестоимости, трудоемкости и материалоемкости, по сравнению с аналогичными по размерам традиционными конструкциями, не менее чем на 20 %, без снижения несущей способности и увеличения осадок;

– разработанные инженерные методы расчета несущей способности песчаных оснований коротких винтовых металлических свай, на основе экспериментально установленных расчетных схем, при вдавливающей и выдергивающей нагрузках, в том числе по величине крутящего момента завинчивания, по сравнению с известными аналогами, позволяющие повысить точность их расчетов;

– разработанные предложения (рекомендации) по проектированию и устройству фундаментов из коротких винтовых металлических свай в песчаных грунтах для включения в (ТКП 45-5.01-254-2012) и вошедшие во 2-ю редакцию «Рекомендации по проектированию и возведению фундаментов из винтовых металлических свай в условиях Республики Беларусь» (Р 5.01.069.2016), обеспечивающие их широкое внедрение и повышение экономической эффективности фундаментов зданий и сооружений.

Положения, выносимые на защиту:

1 – полученные результаты лабораторных и натурных исследований о величине активной зоны, несущей способности и характере деформирования песчаных оснований коротких свай ВС с учетом размеров ее лопасти и глубины заложения от поверхности грунта при вдавливающих и выдергивающих нагрузках;

2 – установленные закономерности устойчивости и расчетные схемы песчаных оснований коротких свай ВС, с учетом критерия глубины заложения лопасти от поверхности грунта при их вдавливании и выдергивании;

3 – усовершенствованная конструкция короткой сваи ВС, обеспечивающая снижение себестоимости и трудоемкости ее изготовления и погружения не менее чем на 10%;

4 – разработанные инженерные методы расчета несущей способности песчаных оснований коротких свай ВС, в том числе по величине крутящего момента завинчивания на последнем метре погружения и коэффициенту перехода при вдавливающих и выдергивающих нагрузках;

5 – разработанные предложения (рекомендации) по проектированию и изготовлению коротких винтовых металлических свай фундаментов зданий и сооружений для включения их в нормативно-технические документы, обеспечение их широкого внедрения в условиях Республики Беларусь.

Личный вклад соискателя

Личное участие автора в получении научных результатов, представленных в диссертации, заключается в определении задач исследований, изучении особенностей взаимодействия коротких свай ВС с песчаными основаниями в зависимости от размеров ствола и лопасти, глубины ее заложения от поверхности грунта и его свойств в лабораторных и натурных условиях, в анализе и статистической обработке результатов испытания, в сопоставлении полученных экспериментальных данных с существующими теоретическими данными, а так же в совместной разработке методов их расчета и предложений по проектированию и возведению.

Основные положения диссертации, выносимые на защиту, а также результаты экспериментальных лабораторных и натурных исследований коротких свай ВС получены автором самостоятельно при научном руководстве кандидата технических наук Кравцова В. Н. Публикации без соавторов (4 статьи) полностью основаны на исследованиях автора и подготовлены к печати лично. В публикациях с соавторами постановка целей и задач, обсуждение и анализ результатов исследований, формирование и разработка теоретических положений методов расчетов и выводов проводились совместно.

Апробация результатов диссертации

Результаты диссертационных исследований, доложены и обсуждены на следующих научных собраниях: семинарах кафедры «Геотехника и экология в строительстве» БНТУ в 2011–2014 гг.; студенческих научно-технических конференциях БНТУ № 67–69 (2011–2013 гг.); 7-й всеукраинской научной технической конференции «Механика грунтов, геотехника и фундаментостроение» 4–10 октября 2011 г., г. Одесса; 3-м Международном симпозиуме «Проблемы современного бетона и железобетона» 10–11 ноября 2011 г., г. Минск; Международной научно-технической конференции «Геотехника Беларуси: Наука и практика» 23–25 октября 2013 г., г. Минск; 8-й Международной всеукраинской научно-технической конференции «Механика грунтов, геотехника и фундаментостроение» 11–14 ноября 2013 г., г. Полтава; Международной научно-технической конференции молодых ученых «Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности» 22–23 октября 2015 г., г. Могилев.

Результаты диссертационных исследований использованы при строительстве 19 объектов и разработке вторых редакций «Рекомендации по проектированию и возведению фундаментов из винтовых металлических свай в условиях Республики Беларусь» Р 5.01.069.2010 (2016) и технических условий на их изготовление ТУ ВУ 191301472.003–2015.

Опубликованность результатов диссертации

Основные положения работы опубликованы в 10 научных изданиях (3,24 а. л.). Из них: три статьи в научных изданиях, соответствующих перечню ВАК Республики Беларусь (1,48 а. л.), три статьи в сборниках научных трудов и конференций, материалах конференций и семинаров (0,75 а. л.), четырех тезисах докладов в сборниках научных семинаров и конференций (0,61 а. л.). Подана заявка № а 20160284 на патент «Винтовая металлическая свая» (0,4 а. л.).

Структура и объем диссертации

Диссертация состоит из введения, общей характеристики работы, четырех глав, заключения, библиографического списка, двух приложений. Полный объем диссертации изложен на 199 страницах, из них 81 иллюстрация на 60,5 страницах, 19 таблиц на 16 страницах, библиографический список из 142 наименований литературных источников (включая собственные) на 11 страницах, два приложения на 12 страницах. Основной текст диссертации изложен на 99,5 страницах.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** даны обоснование темы диссертационной работы, ее актуальность, новизна, решаемые задачи по выбранному направлению исследований, их практическая ценность и общая характеристика работы.

В **первой главе** приведены аналитический обзор литературных источников по рассматриваемому вопросу и исторический очерк об основных этапах развития научных представлений по рассматриваемой проблеме, результаты предыдущих и современных исследований, а также теоретические предпосылки расчета и методов проектирования винтовых свай.

Отмечен вклад в изучение оснований винтовых металлических свай, якорей и, аналогичных им по характеру работы, анкеров и свай отечественных и зарубежных ученых: Л. Я. Богорада, В. Е. Быховцева, Б. И. Далматова, В. Н. Железкова, В. Н. Крав-

цова, А. П. Кремнева, Э. В. Костерина, М. Д. Иродова, М. И. Никитенко, П. С. Пойты, В. Е. Сеськова, Д. Ю. Соболевского, Ю. А. Соболевского, Б. С. Смолина, М. И. Смородинова, В. М. Улицкого, И.И. Цюрупы, Л. Б. Шапиро, Г. С. Шапиро, В. П. Чернюка, К. Терцаги, Р. Д. Миндлина, Г. Г. Меергофа и ряда других авторов.

Показано, что благодаря их деятельности и организаций НИИОСП, СПб ГАСУ, БНТУ, РУП «Институт БелНИИС» и ряда других, накоплен большой экспериментальный и теоретический материал, позволивший разработать нормы и рекомендации по вопросам изыскания, проектирования и возведения, как правило, длинных свай ВС для местных условий строительства, которые требуют верификации в грунтовых условиях белорусского региона. В первую очередь это относится к песчаным основаниям коротких свай ВС (как наиболее распространенным на территории Республики Беларусь и Республики Ирак), в связи с отсутствием для них достоверных методов расчета их несущей способности. По итогам обзора состояния проблемы применения коротких свай ВС в условиях Республики Беларусь выявлены вопросы, требующие изучения и определения цель, задачи и направления собственных исследований [4, 9].

Во **второй главе** изложены результаты лабораторных исследований песчаных оснований коротких свай ВС с использованием плоского грунтового лотка (рисунок 1) и метода маломасштабного физического моделирования. Изучалось взаимодействие моделей коротких свай ВС с песчаным основанием (восемь серий по девять испытаний в каждой серии) при вдавливающей и выдергивающей нагрузках. В соответствии с требованиями теорий подобия и эксперимента (полное геометрическое подобие) использовались деревянные и металлические модели свай ВС (масштаб М1:20), погруженные в песчаные основания с разными глубиной заложения их лопасти z и ее диаметрами D_l [6, 9].

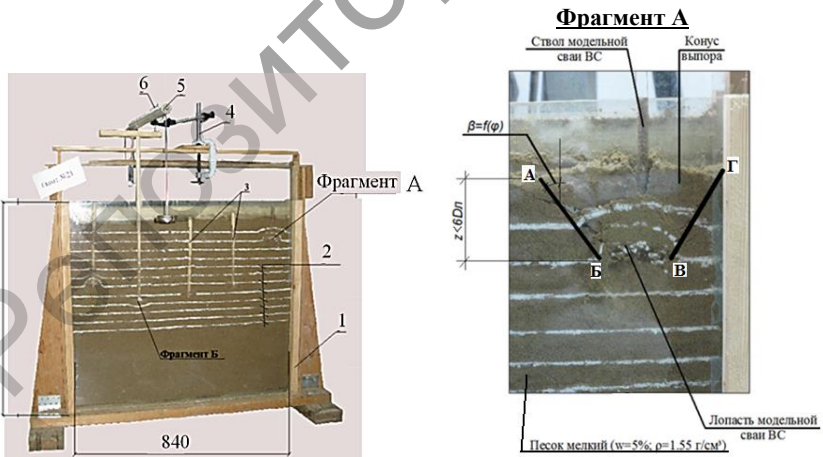
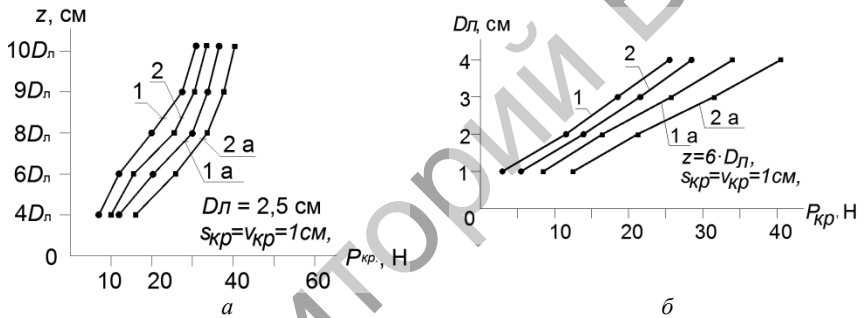


Рисунок 1. – Общий вид плоского лотка 1 и оборудования (струбцина 4 с индикатором 3 и нагружающее рычажное устройство 2) с моделями свай ВС (3) в процессе их испытания для серии 2 (опыт 21) при $z = 6 D_l$, $D_l = 2,5$ см, песок мелкий, $\rho = 1,55$ г/см³

В качестве модели грунтового основания использовались наиболее распространенные в Республике Беларусь пески мелкий и средний от рыхлого до плотного по слою отсыпаемые в лоток слоями по 20 мм с прослойками мела между ними (см. рисунок 1) с характеристиками: плотность от 1,40–1,65 г/см³; влажность от 2,0 до 8,0 %; сцепление от 0,00 до 0,01 МПа; угол внутреннего трения от 18° до 32°.

Нагружение моделей коротких свай ВС осуществлялось ступенями, посредством рычажного загрузочного устройства (см. рисунок 1) грузами с массой равной (1/5–1/10) от возможной предельной нагрузки. Измерение их осадок и деформаций поверхности грунта основания, осуществлялось индикаторами часового типа ИЧ, с точностью измерений 0,01 мм [3, 9]. Характерные результаты модельных испытаний даны на рисунке 2.

В процессе лабораторных исследований установлено, что устойчивость и размеры активной (деформируемой) зоны песчаного основания модельной короткой сваи ВС в песке зависят от глубины заложения ее лопасти z , диаметра D_l и плотности-влажности грунтов (см. рисунок 2).



**a – графики зависимости $z_{кр} = f(P_{кр})$; b – графики зависимости $D_l = f(P_{кр})$:
 1 – для песка мелкого ($\rho = 1,55$ кг/см³) при выдергивании; 1а – то же, при вдавливании; 2 – для песка среднего ($\rho = 1,55$ кг/см³) при выдергивании; 2а – то же, при вдавливании**

Рисунок 2. – Обобщенные результаты испытания моделей свай ВС

Потеря устойчивости оснований моделей коротких свай ВС из песка мелкого и среднего при $z > z_{кр}$ происходит за счет его внутреннего выпора в замкнутом объеме под над лопастью (в зависимости от вдавливания / выдергивания) со смещением в стороны и вверх (без выхода на поверхность), а при $z \leq z_{кр}$ за счет образования конуса выпирания в объеме АБВГ с боковыми гранями, наклоненными, для песка средней прочности, под углом $\beta \cong \varphi$ к вертикали где $z_{кр} = (5-6)D_l$ для песка среднего и $z_{кр} = (6-7)D_l$ для песка мелкого; φ – угол внутреннего трения песка (см. рисунок 1) [3]. Деформируемые зоны моделей свай ВС в песке соответствуют, начиная с глубины $4D_l$ (см. рисунок 1), при вдавливании и выдергивании размерам: по высоте $h_{max} = (1-1,5)D_l$, по ширине $B_{max} = (1,5-2)D_l$ (большие значения для рыхлых и влажных грунтов).

Результаты лабораторных исследований песчаных оснований моделей коротких свай ВС послужили основой для разработки программы их натурных испытаний [3].

В третьей главе даны результаты полевых (натурных) исследований песчаных оснований коротких свай ВС, выполненных на трех основных опытных площадках (далее ОП 1–ОП 3).

Задачами натурных испытаний коротких свай ВС в полевых условиях являлось исследование их взаимодействия с песками мелкими и средними в зависимости от соотношения размеров ствола, лопасти, глубины ее заложения от поверхности грунта z , характера загрузки, грунтовых условий, крутящего момента завинчивания M_k и сопоставление полученных результатов с лабораторными и теоретическими (расчетными) данными.

На трех опытных площадках проведены испытания шести разработанных однолопастных опытных коротких свай ВС с диаметрами ствола $d_c = (57, 76, 87, 108)$ мм и соответствующим b им диаметрами лопастей $D_l = (150, 250, 250, 300)$ мм, длиной от 1,5 до 3 м (рисунок 3) и четырех типовых конструкций свай ВС с диаметром ствола $d_c = 219$ мм и диаметром лопасти $D_l = 500$ мм.

Опытные сваи ВС с диаметром ствола / лопасти, мм: $\varnothing 57/150$, $\varnothing 76/250$, $\varnothing 87/250$, $\varnothing 108/300$, длиной от 1,5 до 2 м погружались в песчаные основания ОП 1 и ОП 2 на глубину 1,5–2 м при помощи ручного ворота и мускульной силы четырех рабочих, а диаметрами $\varnothing 219/500$ мм и длиной $L \geq (5, 5,5)$ м и (7, 7,5) м на ОП 3 и др. – гидравлическим кабестаном, навешенным на манипулятор буровой установку УБМ 85 на базе автомобиля КАМАЗ 43118-10. При погружении опытных свай ВС измерялись скорость их погружения и требуемый для этого крутящий момент. Общая характеристика опытных конструкций коротких свай ВС и площадок ОП 1–ОП 3 даны в таблице 1, рисунках 3, 4.

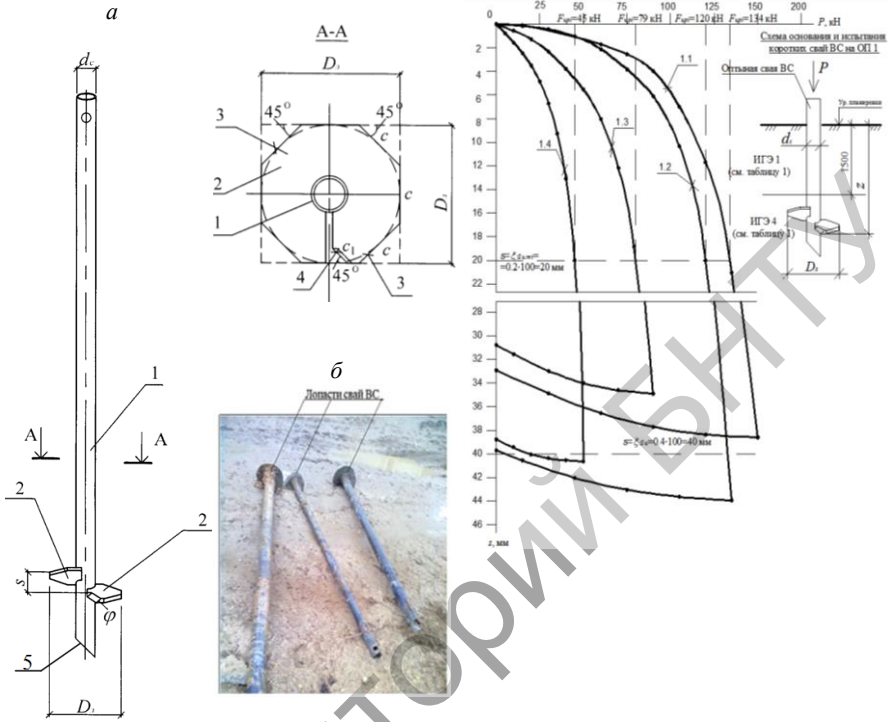
Опыт использования разработанных приспособлений и средств малой механизации (лебедка ворот и др.) на опытных площадках ОП 1, ОП 2 и производственных площадках показал, что они с успехом могут применяться для погружения коротких свай ВС в пески средней прочности до глубины 4 м, а малопрочные (рыхлые, влажные) – до 6 м вместо энергоемкого дефицитного и дорогостоящего специального оборудования (кабестаны и др.), не уступая ему по эффективности (сроки, себестоимость изготовления) при небольших объемах строительства (малоэтажные дома, временные сооружения и др.) и в песчаных условиях.

Полевые испытания свай ВС (последовательно: вдавливание затем – выдергивание) осуществлялось с использованием гидравлических домкратов ДГ50 или цилиндрами С100 и упорных платформ или металлических балок по стандартной методике СТБ 2242–2011 до их срыва и доведения осадок не менее, чем до 20–40 мм, а выхода свай ВС при выдергивании до 100 мм. Затем они разгружались с замером упругих деформаций (см. рисунок 4).

После испытаний часть опытных коротких свай ВС откапывалась для определения деформированной зоны вокруг них, которая устанавливалась испытанием грунта динамическим зондом и плотномером с отбором образцов грунта из откопанных шурфов для контроля их характеристик лабораторными методами. Место, где смежные значения сопротивления природного и уплотненного короткой сваей ВС песка погружению конуса зонда q_c и его плотности ρ_d соответственно не отличались друг от друга более, чем на 0,01 МПа и 0,1 кг/см³, принималось за границу сжимаемой зоны.

Таблица 1. – Общая характеристика опытных площадок ОП 1–ОП 3, конструкций коротких свай ВС и результаты сопоставления допускаемой нагрузки на их песчаные основания $F = F_d / \gamma_k$ * по результатам испытаний ($\gamma_k = 1,2$) с ее значениями, полученными расчетом по известным и предлагаемым методам автора ($\gamma_k = 1,4$)

Индекс (номер) короткой сваи ВС	Опытная площадка (ОП) и ее номер, характеристика песка основания	Размеры коротких свай ВС $d_c \times D_n \times l$, мм, (обозначения по рисунку 3)	Значения F , кН, фактическое по результатам испытаний, (приняты за эталон для сравнения)	Значения F , кН, рассчитанные по методу СП (РФ) 50-102 и их отклонения от фактических величин в графе 4, % (в скобках)	Значения F , кН, рассчитанные по методу Железкова и их отклонения от фактических величин в графе 4, % (в скобках)	Значение F , кН, рассчитанные по предлагаемым методам автора (глава 4) и их отклонения от фактических величин в графе 4, % (в скобках)
1	2	3	4	5	6	7
При вдавливающих статических нагрузках						
1.1	ОП 1, песок средний (ИГЭ 4)	108×300×2000	112	43(–62)	58(–48)	96(–14)
1.2		87×250×2300	100	36(–64)	48(–52)	80(–20)
1.3		76×250×1500	66	23(–65)	30(–55)	64(–2)
1.4		57×150×1800	38	13(–66)	17(–55)	37(–3)
2.1	ОП 2, песок мелкий (ИГЭ 2)	108×300×2000	71	43(–39)	58(–18)	61(–14)
2.2		108×300×2500	76	54(–28)	72(–5)	65(–14)
3.1	ОП 3, песок средний (ИГЭ 4 и ИГЭ 8)	290×500×5000	200,00	204(+2)	270(+35)	204(+2)
3.2		290×500×5500	270,83	226(–16)	298(+10)	219(–19)
3.3		290×500×7000	229,17	621(+171)	864(+277)	258(+13)
3.4		290×500×7500	316,67	667(+110)	926(+192)	261(–18)
При выдергивающих статических нагрузках						
1.1	ОП 1, песок средний (ИГЭ 4)	108×300×2000	88	38(–56)	52(–41)	75(–15)
1.2		87×250×2300	64	32(–50)	44(–31)	64(–1)
1.3		76×250×1500	52	20(–62)	27(–42)	45(–13)
1.4		57×150×1800	26	11(–58)	15(–7)	25(–2)
2.1	ОП 2, песок мелкий (ИГЭ 2)	108×300×2000	55	37(–33)	51(–12)	46,6(–18)
2.2		108×300×2500	58	47(–19)	65(–52)	51(–12)
3.1	ОП 3, песок средний (ИГЭ 4 и ИГЭ 8)	290×500×5000	Не выполнялись	179	243	148
3.2		290×500×5500		197	271	160
3.3		290×500×7000		539	672	162
3.4		290×500×7500		571	721	164
<p>Примечание: F_d – несущая способность коротких свай ВС по результатам испытаний по СТБ 2242–2011 «Грунты. Методы полевых испытаний сваями» на ОП 1– ОП 3; γ_k – коэффициент надежности метода расчета по ТКП 45-5.01-254–2012 «Основания и фундаменты зданий и сооружений».</p>						



а – чертеж по заявке к патенту а 20160284; **б** – общий вид готовых свай ВС перед погружением на ОП 1: 1 – диаметр ствола d ; 2 – диаметр лопасти по расчету D_L ; 3 – сторона многоугольной лопасти c ; 4 – сторона скоса на режущем ноже нижней ветви c_1 ; 5 – скошенный нижний конец (наконечник); s – шаг между нижней режущей и верхней концевой ветвями лопасти

Рисунок 3. – Конструкция опытной короткой винтовой металлической свай с одноветвевой многоугольной лопастью в уровне ее нижнего конца

1.1–1.4 – индексы (номера) опытных коротких свай ВС по таблице 1; D_L , d , z – обозначения по таблице 1

Рисунок 4. – Результаты экспериментальных исследований несущей способности и деформативности опытных коротких свай ВС № 1.1–1.4 вдавливающей нагрузкой на опытной площадке ОП 1, графики зависимости осадки s от нагрузки P ($s = f(P)$)

В результате проведенных полевых исследований, установлено:

- деформируемая зона в пределах лопасти коротких свай ВС при глубине ее заложения $z > z_{кр} \geq 1,5$ м, как при вдавливании, так и выдергивании имеет замкнутый контур, близкий по своему очертанию к сферическому. Размеры деформируемой зоны как ниже так и выше лопасти не превышают для коротких свай ВС исследуемых сечений $(1-2)D_{л}$ по глубине и ширине, что полностью совпадает с результатами лабораторных исследований (см. рисунок 1). Осадка (выход) свай ВС при глубине заложения лопасти $z > z_{кр}$ происходит за счет внутримассового перемещения грунта в пределах активных зон в виде внутреннего выпора (где $z_{кр} = (5-6)D_{л}$ для песка среднего и $(6-7)D_{л}$ для песка мелкого) со смещением его в стороны и вниз, при вдавливании, и вверх, при выдергивании;

- время, необходимое для погружения свай ВС на 1 м по глубине и количество оборотов необходимое для этого, зависит от плотности грунта, модуля его деформации и, особенно сильно, от диаметра и глубины погружения лопасти z ;

- в зависимости от глубины погружения лопасти, установлено три схемы устойчивости песчаного основания короткой сваи ВС при ее вдавливании и выдергивании (рисунок 5). Первая схема соответствует выдергиванию коротких свай ВС при глубине заложения ее лопасти от поверхности песка менее критической величины $z \leq z_{кр}$. В этом случае потеря устойчивости короткой сваи ВС (исчерпание несущей способности) происходит в результате сдвига грунта вдоль боковой поверхности усеченного конуса выпирания, который формируется в однородных основаниях с $\phi \geq 10^\circ$ от краев ее лопасти в объеме АБВГ (см. рисунок 5, а) с углом наклона образующих его боковых граней к вертикали $\beta = \phi$ (где ϕ – угол внутреннего трения грунта). Вторая схема (см. рисунок 5, б) соответствует устойчивости короткой сваи ВС при выдергивании с глубиной заложения лопасти $z > z_{кр}$, а третья схема (см. рисунок 5, в) относится к ее вдавливанию с минимальной глубиной заложения лопасти z – не менее 1,5 м (из условия промерзания).

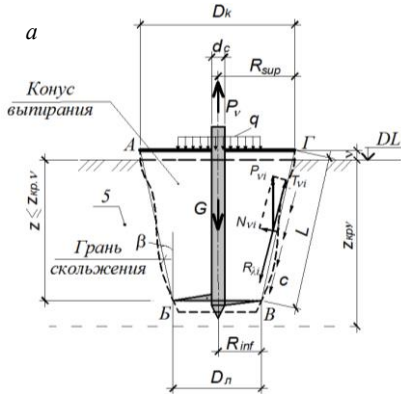
В **четвертой главе** приведены материалы практического использования результатов диссертационных исследований при разработке инженерных методов расчета несущей способности песчаных оснований, конструкции, рекомендаций по проектированию и апробации в производственных условиях коротких свай ВС на основе экспериментально установленных особенностей их взаимодействия с песком при вдавливающей и выдергивающей нагрузках.

В разделе 4.1 даны методы расчета.

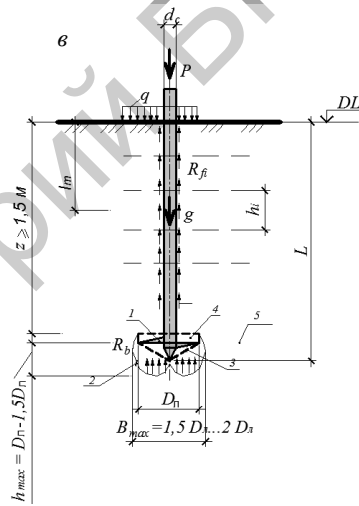
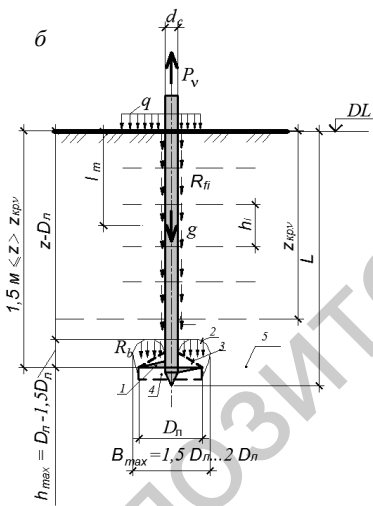
4.1.1 Метод расчета несущей способности выдергиваемой короткой сваи ВС при $z \leq z_{кр}$.

Разработка метода базируется на том, что характерными, экспериментально установленными, особенностями нарушения формы устойчивости основания короткой сваи ВС, в случае ее выдергивания при $z \leq z_{кр}$, для первой расчетной схемы (см. рисунок 5, а), являются:

- блочный характер выпора без разрушения грунта внутри него;
- постоянство кривизны боковой поверхности и объема выпора, соответствующего усеченному конусу;
- сдвиг по поверхности скольжения относительно правильной геометрической формы, направленной вверх с выходом на поверхность грунта под определенным углом наклона (β) к вертикали, являющейся границей между несущим «конусом выпирания» и неподвижным окружающим его массивом грунта.



**Схема сдвига вдоль
элементарной площадки
боковой поверхности конуса
выпираания**



а – расчетная схема 1 при выдергивающей нагрузке и $z \leq z_{кр}$ со схемой сил (плоская задача), действующих по граням (поверхностям) скольжения;
б – расчетная схема 2, при выдергивающей нагрузке и $z > z_{кр}$; **в** – расчетная схема 3 при вдавливающей нагрузке и $z \geq 1,5 M$:

1 – лопасть сваи; **2** – наружный контур внутреннего выпора грунта;

3 – уплотненный клин; **4** – полость в грунте под / над лопастью от выхода / вдавливания короткой сваи ВС; **5** – неподвижный грунт

Рисунок 5. – Экспериментально установленные расчетные схемы устойчивости песчаных оснований коротких винтовых металлических свай для расчета их несущей способности при выдергивающей и вдавливающей нагрузках

Исходя из этого при оценке степени устойчивости и несущей способности оснований короткой сваи, в данном случае, вполне очевидна возможность применения общей теории равновесия горных пород.

Рассмотрим условия предельного равновесия (устойчивости) конуса выпирания при воздействии предельного усилия выдергивания P_v , приложенного к нему перпендикулярно по оси его симметрии.

Составим уравнение равновесия элементарной единичной площадки скольжения боковой поверхности конуса выпирания в пределах образующей ВГ (см. рисунок 5, а), при выдергивании короткой сваи ВС. Для этого возьмем сумму проекций всех сил на нее и приравняем их нулю:

$$\sum P_{vi} \cdot \cos\beta - \sum G_i \cdot \cos\beta - \sum \text{tg}\varphi \cdot G_i \cdot \sin\beta - \sum \frac{c}{2} \cdot A_i = 0, \quad (1)$$

откуда определим наибольшую силу сопротивления сдвигу конуса выпирания на единичной площадке скольжения площадью A_i , при которой обеспечивается его устойчивость и предельное равновесие:

$$\sum P_{vi} = \sum \frac{G_i (\cos\beta + \text{tg}\varphi \sin\beta)}{\cos\beta} + \sum \frac{cA_i}{2\cos\beta} \quad (2)$$

Выполнив соответствующие несложные преобразования и подставив в (2) и (3) вместо $\sum P_{vi}$ и $\sum A_i$ их предельные значения P_v и A получим формулу для определения наибольшей силы сопротивления конуса выпирания его выдергиванию из грунта при $z \leq z_{кр}$:

$$N_\lambda = P_v = G(1 + \text{tg}\varphi \text{tg}\beta) + \frac{cA}{2\cos\beta}, \text{ кН}, \quad (3)$$

где $G = \gamma_m V$ – вес конуса выпирания включая короткую сваю ВС, кН;

$A = 1/2 \pi z / \cos\beta \cdot (D_k + D_l)$ – площадь боковой поверхности конуса выпирания, м²;

φ – угол внутреннего трения грунта по данным испытаний, град;

β – угол наклона боковой поверхности конуса выпирания к вертикали, град., равный, согласно экспериментов, для песков средней прочности, $\beta = \varphi$, для рыхлых и влажных песков – $\beta = 0,9\varphi$;

c – сцепление грунта, определяемое по данным испытаний, МПа.

Здесь $V = 1/3\pi z(R_{sup}^2 + R_{inf}^2 + R_{sup}R_{inf})$ – объем конуса выпирания, м³;

γ_m – усредненный удельный вес, грунта в объеме конуса;

z – высота усеченного конуса выпирания, м;

D_l – диаметр нижнего основания усеченного конуса выпирания, м;

$D_k = D_l + 2z\text{tg}\beta$ – диаметр верхнего основания усеченного конуса выпирания, м;

R_{sup}, R_{inf} – см. рисунок 5.

Для инженерных расчетов несущей способности F_{dl} оснований выдергиваемых коротких свай ВС с $D_l \leq 500$ мм, при $z \leq z_{кр}$, погруженных в пески со скоростью $V = 2$ м/мин, после введения в формулу (3) экспериментально установленных

коэффициентов условий их работы в песке и коэффициентов безопасности по нагрузке к материалам, ее предлагается использовать в виде

$$F_{dt} = \gamma_c (\gamma_m G + \gamma_{cf} N_\lambda \cos\beta + \gamma_{mf} G_q), \text{ кН}, \quad (4)$$

где γ_c – коэффициент условий работы, равный $\gamma_c = 0,8$;

$\gamma_m = 1 + \text{tg}\rho\text{tg}\beta$ – коэффициент условия выдергивания конуса выпирания;

$\gamma_{mf} = 0,9$ – коэффициент безопасности по материалам;

$$N_\lambda = \frac{cA}{2\cos\beta} - \text{сила сопротивления сдвигу конуса выпирания при выдергивании}$$

и $z \leq z_{кр}$;

G_q – вес пригрузки на поверхности грунта, кН.

Остальные обозначения см. (3).

4.1.2 Метод расчета несущей способности песчаных оснований вдавливаемых и выдергиваемых коротких свай ВС при глубине заложения их лопасти от поверхности грунта $z > z_{кр} \geq 1,5$ м

В отличие от расчетной схемы 1 рисунка 5, *а*, характерной, экспериментально установленной, особенностью расчетных схем 2 и 3 (см. рисунки 5 *б*, *в*) является то, что несущая способность основания короткой винтовой металлической сваи при глубине заложения лопасти от поверхности грунта $z > z_{кр} = (5-6)D_l$ для среднего песка и $z > z_{кр} = (6-7)D_l$ для мелкого песка складывается из несущей способности лопасти F_{db} и ее ствола F_{df} , для определения которых вполне пригоден нормативный метод (ТКП 45-5.01-254-2012), хорошо зарекомендовавший себя и применяемый в современной инженерной практике, использующий двухкомпонентные расчетные формулы и табличные значения расчетных характеристик грунтов под лопастью R_b и вдоль ствола R_f , установленных из опыта. Метод не учитывает влияния на несущую способность коротких свай ВС размеров их лопасти диаметром меньше $D_l < 500$ мм и длины меньше $L < 3$ м. Это ведет к недоиспользованию несущей способности песчаных оснований коротких свай ВС и повышению стоимости фундаментов.

Согласно исследованиям Быховцева В. Е. несущую способность грунта основания свай можно выразить в виде степенной функции, которая, применительно к несущей способности грунта под лопастью сваи ВС диаметром D_l , будет иметь вид

$$F_{db} = aD_{li}^k, \quad a > 0, k < 0, D_{l \min} < D_{li} < D_{l \max}, \quad (5)$$

где F_{db} – предельная несущая способность грунта под лопастью, кН;

a, k – определяемые параметры степенной функции;

$D_{l \min}$ и $D_{l \max}$ – меньший и больший диаметр лопасти, м.

При $D_{li} = D_{l \max}$ – предельная несущая способность грунта под лопастью будет соответствовать большему ее значению $F_{db \max}$, при $D_{li} = D_{l \min}$ – меньшему $F_{db \min}$.

При условии $D_{li} = D_{l \min}$, используя (5), найдем значение a :

$$a = \frac{F_{db \min}}{D_{l \min}^k}. \quad (6)$$

Подставив значение a из (6) в формулу (5) при $D_{li} = D_{л\max}$ и $F_{db} = R_b A$ получим

$$F_{db\text{ лопасти}} = R_b A \left(\frac{D_{л}}{D_{li}} \right)^k, \quad (7)$$

где $D_{л} = 500$ мм эталонный диаметр лопасти большего размера, м;

D_{li} – диаметр (меньшего размера), для которого определяется значение F_{db} ;

k – показатель степени влияния размера лопасти на ее несущую способность, определяемый из опыта, равный по данным выполненных экспериментов, для коротких свай ВС с размерами лопасти в пределах $150 \text{ мм} \leq D_{li} \leq 500 \text{ мм}$ и длиной $1,5 \text{ м} \leq L_i < 6 \text{ м}$ – $k = 0,3$.

Аналогично, несущая способность ствола F_{df} короткой сваи ВС, которая, с учетом влияния на нее размера диаметров $d_c = 133$ мм – эталонного и d_{ci} – рассчитываемого стволов, имеет вид

$$F_{df} = u \sum h_i R_f \left(\frac{d_c}{d_{ci}} \right)^k. \quad (8)$$

Для практических расчетов рабочая площадь короткой сваи ВС A , м^2 , определяется по математическим формулам и составляет:

– при выдергивании

$$A = 0,785 (D_{л}^2 - d_c^2); \quad (9)$$

– при вдавливании

$$A = 0,785 D_{л}^2. \quad (10)$$

Приняв во внимание (6)–(10), а также экспериментально установленные коэффициенты условий работы и безопасности, регламентируемые Еврокод и ТКП 45-5.01254-2012, получим уточненные формулы для определения методом расчета несущей способности песчаных оснований защемленных в грунте коротких свай ВС длиной $l < 6$ м с диаметром лопасти $D_{л} \leq 0,50$ м при глубине их заложения $z > z_{кр}$, но не менее 1,5 м, работающих на осевую выдергивающую F_{dt} (формула (11), расчетная схема на рисунке 5, б) и вдавливающую F_d (формула (12), расчетная схема на рисунке 5, в) нагрузки:

$$F_{dt} = \gamma_c (\gamma_{cr} R_b \cdot 0,785 (D_{ли}^2 - d_{ci}^2) m_D + \gamma_{cf} u m_d \sum R_{fi} (z - D_{л}) + \gamma_g g + \gamma_q q), \text{ кН}, \quad (11)$$

$$F_d = \gamma_{cr} R_b \cdot 0,785 D_{ли}^2 m_D + \gamma_{cf} u m_d \sum h_i \cdot R_{fi}), \text{ кН}, \quad (12)$$

где γ_c – коэффициент условий работы коротких свай ВС в грунте принимаемый для песков мелких и средних средней прочности равным $\gamma_c = 0,8$; для песков

малопрочных (рыхлых, насыпных неслежавшихся, до 5 лет) и влажных ($0,7 \leq S_r \leq 0,9$) – $\gamma_c = 0,7$, для водонасыщенных малопрочных песков ($S_r > 0,9$) – $\gamma_c = 0,6$;

γ_{cr}, γ_{cf} – коэффициенты условий работы грунта под / над лопастью и на боковой поверхности ствола короткой сваи ВС, принимаемые равными $\gamma_{cr} = 0,8$ (при вдавливании); $\gamma_{cr} = 0,7$ (при выдергивании); $\gamma_{cf} = 0,7$ (при вдавливании) $\gamma_{cf} = 0,6$ (при выдергивании);

R_b – расчетное сопротивление грунта под / над лопастью, МПа, принимаемое по таблице 5.7 ТКП 45-5.01-254-2012 «Основания и фундаменты зданий и сооружений»;

$m_D = (D_{л 500} / D_{ли})^k$ – коэффициент влияния диаметра лопасти на ее несущую способность:

$D_{ли}$ – диаметр лопасти рассчитываемой короткой сваи ВС, м;

$D_{л 500}$ – эталонный диаметр лопасти, равный 0,5 м;

k – показатель степени влияния размеров лопасти, определяемый из опыта; для предварительных расчетов песчаных оснований фундаментов допускается принимать равным $k = 0,3$;

U – усредненный периметр поперечного сечения ствола короткой сваи ВС в i -м слое грунта, м;

$m_d = (d_{c 133} / d_{ci})^k$ – коэффициент влияния диаметра ствола на его несущую способность:

d_{ci} – диаметр ствола рассчитываемой короткой сваи ВС, м;

$d_{c 133}$ – эталонный диаметр ее ствола, равный 0,133 м;

k – показатель степени влияния размеров ствола, определяемый из опыта; для предварительных расчетов песчаных оснований допускается принимать равным $k = 0,3$;

h_i – толщина i -го слоя грунта, м, соприкасающегося с боковой поверхностью ствола короткой сваи ВС, принимаемая равной $h_i \cong 2,0$ м или толщине прослоек, если их мощность находится в пределах 0,5–2,0 м;

R_{fi} – расчетное сопротивление i -го слоя грунта вдоль боковой поверхности ствола короткой сваи ВС, МПа, определяемое по таблице 5.8 ТКП 45-5.01-254–2012 «Основания и фундаменты зданий и сооружений»;

g – вес короткой сваи ВС, кН;

$z, z_{кр}$ – соответственно фактическая и критическая глубина заложения лопасти короткой сваи ВС, равная для песка средней средней прочности – $z_{кр} = (5-6)D_{ли}$; для песка мелкого средней прочности – $z_{кр} = (6-7)D_{ли}$, м (больше значения для малопрочных (рыхлых) и влажных песков);

γ_g, γ_q – коэффициенты безопасности по материалу короткой сваи ВС и полезной нагрузке q , МН/м², принимаемые равными $\gamma_g = \gamma_q = 0,9$;

q – полезная нагрузка, МН/м², с прилегающей территории от ее пригруза (от ростверка, материалов, транспорта и др.).

В разделе 4.2 даны материалы по уточнению метода оперативной оценки несущей способности короткой сваи ВС при вдавливании F_d и выдергивании F_d по крутящему моменту завинчивания M_k на последнем метре ее погружения, в том числе на строительной площадке.

В разделе 4.3 на основании полученных результатов диссертационных исследований представлены предложения (рекомендации) по проектированию, в том

числе расчета песчаных оснований коротких свай ВС для включения в нормативно-технические документы: ТКП 45-5.01-254-2012 и вошедшие в Рекомендации Р5.01.069.2010 (2016), а также ТУ ВУ 191301472.003-2015 на изготовление, что повысило их экономическую эффективность не менее, чем на 20 % и обеспечило активное внедрение (справки о внедрении даны в приложении Б диссертации).

Раздел 4.4. посвящен разработке и апробации новой конструкции коротких свай ВС, обеспечивающих снижение стоимости и трудоемкости их возведения не менее чем на 20 % (см. рисунок 3). На предлагаемую конструкцию свай ВС, подана заявка на патент (а № 20160284).

В заключительном **разделе 4.5** отражены производственный опыт использования результатов диссертационных исследований, их экономическая эффективность и верификация по отношению к известным методам расчета и опытным данным. Отклонения значений F , найденные расчетом по предложенным методикам от их фактических величин по результатам испытаний (см. таблицу 1) не превышают 20 % в отличие от известных методов, где эти отклонения в песках Республики Беларусь достигают 60 % и более, что позволило повысить технико-экономическую эффективность применения коротких свай ВС в условиях белорусского региона, по сравнению с традиционными решениями, не менее чем на 20 %.

Результаты исследований применены (внедрены) на 19-ти малоэтажных объектах и временных сооружениях.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Впервые на территории белорусского региона выполнены комплексные исследования песчаных оснований коротких винтовых металлических свай, в следствии которых [3–9]:

– подтверждена техническая и экономическая эффективность коротких свай ВС (высокая несущая способность на единицу стоимости возведения, кН / руб.) [3, 7], что позволяет считать предлагаемые конструкции прогрессивным техническим решением, а их использование в грунтовых условиях Республики Беларусь – актуальным, обеспечивающим выполнение строительных программ Министерства строительства и архитектуры Республики Беларусь по ресурсосбережению;

– получены новые экспериментально обоснованные данные об устойчивости, несущей способности, деформативности и размерах активной зоны в уровне лопасти и вдоль ствола коротких свай ВС в песках мелком и среднем, как наиболее распространенных в белорусском регионе и Республике Ирак, позволяющие уточнить методы их расчета [4, 5];

– показано, что основными факторами, определяющими величину несущей способности и деформативность песчаных оснований коротких свай ВС являются глубина заложения их лопасти от поверхности грунта, ее размер, свойства (плотность, влажность) и вид песка (мелкий, средний) [6, 8, 9], которые недостаточно полно учитываются в известных расчетных методах при ее оценке. Указанное обстоятельство приводит к недостоверности расчетов по ним и требует их совершенствования [3].

2. Развита, на основе полученных экспериментальных результатов лабораторных и натурных исследований песчаных оснований коротких свай ВС, имеющиеся

представления о характере и особенностях их взаимодействия с песком при вдавливающей и выдергивающей нагрузках. Это позволило установить критерии устойчивости песчаных оснований коротких свай ВС при вдавливании и выдергивании с учетом глубины заложения лопасти от поверхности планировки и экспериментально обосновать схемы их расчета [1, 2]. В частности, установлено:

– при глубине погружения лопасти коротких свай ВС z менее критической величины, $z \leq z_{кр} = (5-6)D_{л}$ для песка среднего и $z \leq z_{кр} = (6-7)D_{л}$ для песка мелко-го, потеря устойчивости (несущей способности) их оснований при выдергивании происходит в результате образования конуса выпирания и выхода его на поверхность грунта (см. рисунок 5, а), а при вдавливании – от внутреннего выпора с образованием активной деформируемой зоны ограниченного объема в форме эллипсоида (см. рисунок 5, б): высотой $h_{max} = (1-1,5) D_{л}$ шириной $B_{max} = (1,5-2)D_{л}$ [3];

– при $z > z_{кр}$ потеря устойчивости (исчерпание несущей способности) основания коротких свай ВС, как при вдавливании, так и выдергивании происходит в результате внутреннего выпора грунта с образованием уплотненных несущих зон ограниченных размеров в форме эллипсоидов, расположенных выше (при выдергивании) или ниже (при вдавливании) их лопасти (см. рисунки 5, б, в).

3. Разработаны инженерные методы расчета несущей способности песчаных оснований коротких винтовых металлических свай с использованием экспериментально установленных расчетных схем при вдавливающей, выдергивающей нагрузках и критерия глубины заложения несущей лопасти относительно поверхности планировки, в том числе по величине крутящего момента завинчивания, позволяющие в среднем повысить их точность, по сравнению с известными, не менее чем в 1,5 раза (см. таблицу 1) [1–3, 5]. Отклонения между значениями, найденными из опыта и рассчитанными по предлагаемому методу, не более 20 %, что не превышает точности определения опытных данных (см. таблицу 1).

При этом, в процессе выполненных исследований несущей способности песчаных оснований средней прочности коротких винтовых металлических свай, экспериментально подтвержден факт соответствия угла наклона граней конуса выпирания к вертикали β – углу внутреннего трения грунта $\beta = \varphi$, град.

4. Разработана и апробирована новая конструкция коротких свай ВС, обеспечивающая снижение, по сравнению с известными решениями, стоимости и трудоемкости их изготовления и возведения не менее чем на 20 %. На предлагаемую конструкцию коротких свай ВС подана заявка на патент № а 20160284 [10, 11].

5. На основании полученных результатов диссертационных исследований разработаны предложения (рекомендации) по проектированию, (расчету) песчаных оснований коротких свай ВС для включения в национальные нормы ТКП 45.5.01-254–2012 и вошедшие во вторые редакции: Рекомендаций Р5.01.069.2010 (2016 г.) и ТУ ВУ 191301472.003-20–2012 (2015 г.) на их изготовление [3, 5].

6. Практическое использование результатов диссертационных исследований позволило повысить экономическую эффективность проектирования песчаных оснований коротких свай ВС за счет повышения точности расчетов, упрощения конструкции и технологии их изготовления. Это, как следствие, обеспечило снижение материалоемкости, трудоемкости, себестоимости коротких свай ВС не менее чем на 20 % и их активное внедрение при строительстве объектов II и III уровня ответственности [5, 6].

Результаты диссертационных исследований применены не менее чем на 19-и малоэтажных объектах (здания до трех этажей) и временных сооружениях (справки о внедрении даны в приложении Б диссертации).

Рекомендации по практическому использованию результатов

Теоретические и экспериментально-практические результаты диссертационных исследований рекомендуется использовать.

1. При совершенствовании и разработке новых конструктивных решений винтовых металлических свай, механизмов для их погружения и технологии изготовления в производственных условиях, в частности, материалы заявки на предполагаемое изобретение и патент (номер регистрации в институте интеллектуальной собственности № а 20160284).

2. При разработке и развитии методов расчета и конструирования винтовых металлических свай, в качестве методической и теоретической основы, для глинистых и других типов грунтов, не рассматриваемых в настоящей диссертационной работе, что позволит расширить эффективную область их использования.

3. Для включения в образовательные программы обучения, а также в разрабатываемые и действующие технические и нормативные документы по проектированию и возведению оснований и фундаментов зданий и сооружений, так как полученные в диссертации решения и разработанные предложения (рекомендации) дают возможность повысить эффективность фундаментов зданий и сооружений в среднем не менее, чем на 20 %.

4. При новом строительстве и реконструкции зданий и сооружений, так как усовершенствованные винтовые металлические сваи и методы их расчета позволяют, по сравнению с традиционными, снизить себестоимость и сроки возведения фундаментов не менее, чем на 20 %, особенно в сложных условиях строительства (обводненные, слабые, малопрочные грунты и др.).

СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ УЧЕНОЙ СТЕПЕНИ

Статьи в изданиях, включенных в перечень (список) ВАК

1. Кравцов, В. Н. Оценка несущей способности металлических винтовых свай при выдергивании / В. Н. Кравцов, Аль-Тамими Саиф // Будівельні конструкції: Міжвідомчий науково-технічний збірник. – Вип. 75: в 2 кн. – Киев: ДПНДІБК, 2011. – Кн. 2. – С. 256–264.

2. Кравцов, В. Н. Расчет металлических винтовых свай на вдавливающие и выдергивающие нагрузки / В. Н. Кравцов, Аль-Тамими Саиф // Будівельні конструкції: Міжвідомчий науково-технічний збірник. – Вип. 79. – Киев: ДПНДІБК, 2013. – С. 167–171.

3. Кравцов, В. Н. Эффективность фундаментостроения современные металлические винтовые сваи в условиях Белорусского региона / В. Н. Кравцов, Аль-Тамими Саиф // Архитектура и строительство. – 2016. – № 2. – С. 61–65.

Статьи в научных трудах и материалах конференций

4. Кравцов, В. Н. Экспериментальные исследования металлических винтовых свай в грунтовых условиях Республики Беларусь / В. Н. Кравцов, С. С. Х. Аль-Тамими // Сб. тр. XVIII Международного научно-методического семинара: перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь : в 2 т. – Новополоцк: ПГУ, 2012. – Т. 2. – С. 281–286.

5. Кравцов, В. Н. Применение и исследования металлических винтовых свай в Республике Беларусь / В. Н. Кравцов, М. В. Зайцев, С. С. Аль-Тамими // Матер. Международной научно-технической конференции Геотехника Беларуси: наука и практика : в 2 ч. – Минск: БНТУ, 2013. – Ч. 2. – С. 158–165.

6. Кравцов, В. Н. Экспериментальные исследования и применение металлических винтовых свай / В. Н. Кравцов, Аль-Тамими Санф // Сб. науч. тр. Проблемы современного бетона и железобетона. – Вып. 5. – Минск: СтройМедиаПроект, 2013. – С. 86–98.

Тезисы докладов в сборниках и материалах конференций

7. Аль-Тамими, С. С. Х. Эффективность применения металлических винтовых свай в грунтовых условиях Республики Беларусь / С. С. Х. Аль-Тамими // Актуальные проблемы геотехники, экологии и защиты населения в чрезвычайных ситуациях : мат. 67-й студенческой науч.-техн. конф., Минск, 6 мая 2011 / БНТУ; редкол: М. И. Никитенко [и др.]. – Минск: БНТУ, 2011. – С. 85–88.

8. Аль-Тамими, С. С. Х. Экспериментальные исследования мелкозаглубленных металлических свай / С. С. Х. Аль-Тамими // Актуальные проблемы геотехники, экологии и защиты населения в чрезвычайных ситуациях : мат. 68-й студенческой науч.-техн. конф., Минск, / БНТУ; редкол: С. В. Игнатов [и др.]. – Минск: БНТУ, 2013. – С. 101–104.

9. Аль-Тамими, С. С. Х. Экспериментальные исследования винтовых свай лабораторными методами / С. С. Х. Аль-Тамими // Актуальные проблемы геотехники, экологии и защиты населения в чрезвычайных ситуациях : мат. 69-й студенческой науч.-техн. конф., Минск, 25 апреля 2013 : в 2 ч. / БНТУ; редкол: С. В. Игнатов [и др.]. – Минск: БНТУ, 2013. – Ч. 2. – С. 16–19.

10. Аль-Тамими, С. С. Х. Эффективная конструкция мелкозаглубленной винтовой металлической свай / С. С. Х. Аль-Тамими // Новые материалы, оборудование и технологии в промышленности : мат. междунауч.-техн. конф. молодых ученых, Могилев, 22–23 октября 2015 / УО «Белорусско-российский» университет; редкол: д. т. н., проф. И. С. Сазонов [и др.]. – Могилев: Белорусско-Российский ун-т, 2015. – С. 142.

Заявка к патенту на изобретение

11. Свая винтовая металлическая : МПК E02D 5/56 / Заявители: М. В. Зайцев, С. С. Х. Аль-Тамими. – Заявка № а 20160284 на выдачу патента Республики Беларусь на изобретение. – 2015. – 7 с.

РЭЗІЮМЭ

Аль -Тамімі Саіф Самі Хуссейн

Апорная здольнасць і ўстойлівасць пяшчаных падстаў кароткіх шрубавых металічных паль пры дзеянні ўціскальных і выдзіральных нагрузак

Ключавыя словы: шрубавая металічная паля, пяшчаная аснова, уціскальная і вырывацьная нагрузкі, апорная здольнасць, метады разліку, апрабацыя.

Аб'ект даследавання: пяшчаная аснова шрубавых металічных паляў.

Прадмет даследавання: апорная здольнасць, дэфарматыўнасць і ўстойлівасць пяшчаных асноў кароткіх шрубавых металічных паляў і ўдасканаленне метадаў іх праектавання.

Мэта работы: удасканаленне і ўкараненне канструкцый, тэхналогіі вырабу і метадаў разліку апорнай здольнасці і ўстойлівасці пяшчаных падстаў кароткіх шрубавых металічных паль, якія забяспечваюць павышэнне эксплуатацыйнай надзейнасці і зніжэнне кошту падмуркаў.

Метады даследавання і выкарыстаная апаратура: эксперыментальна-тэарэтычныя метады на аснове лабараторных і палявых даследаванняў з выкарыстаннем маламаштабных мадэляў, лабараторных латкоў і абсталявання (вагі электронныя і механічныя, кампрэсійныя, зрушальныя прылады, сушыльныя шафы і інш.); натурныя палі, платформы, бэлькі, гідрадамкраты помпавыя станцыі з манометрамі ціску, індыкатары гадзіннікавага тыпу, прагінамеры 6 ПАО з цаной дзялення 0,01 мм, дынамічныя зонды пітангенцыркуль, а таксама метады тэорыі планавання эксперыменту і апарат механікі грунтоў.

Атрыманыя вынікі, іх навізна і ступень выкарыстання. Атрыманы новыя эксперыментальна і тэарэтычна абгрунтаваны даныя, апорнай здольнасці, дэфармацыі пяшчанай асновы кароткіх шрубавых металічных паляў (ШП) ад уціскальных і вырывацьных нагрузак і ўсталяваны разліковыя схемы іх узаемадзеяння з асновай у залежнасці ад крытэрыю глыбіні залажэння лопасці адносна паверхні планіроўкі, што дазволіла распрацаваць больш дакладныя метады разліку па апорнай здольнасці пяску, у тым ліку па велічыні круцільнага моманту зашрубавання палі ШП. Распрацавана новае канструктыўнае рашэнне кароткіх паляў ШП, якое забяспечвае зніжэнне іх сабекошту, працаёмкасці і матэрыялаёмкасці ў параўнанні з аналагічнымі вядомымі рашэннямі не менш чым на 20 % без зніжэння апорнай здольнасці і павелічэння асадак, а таксама прапановы (рэкамендацыі) па праектаванні і ўладкаванні падмуркаў з іх, што ўвайшлі ў Рэкамендацыі па праектаванні і ўзвядзенні падмуркаў са шрубавых металічных паляў Р5.01.069.2016. Вынікі даследаванняў укаранены больш чым на 19 малапавярховых (да трох паверхаў) аб'ектах Рэспублікі Беларусь.

РЕЗЮМЕ

Аль-Тамими Саиф Сами Хуссейн

Несущая способность и устойчивость песчаных оснований коротких винтовых металлических свай при действии вдавливающей и выдергивающей нагрузок

Ключевые слова: винтовая металлическая свая, песчаное основание, вдавливающая и выдергивающая нагрузки, несущая способность, методы расчета, апробация.

Объект исследования: песчаные основания винтовых металлических свай.

Предмет исследования: несущая способность, деформативность и устойчивость песчаных оснований коротких винтовых металлических свай при действии вдавливающей и выдергивающей нагрузок.

Цель работы: совершенствование и внедрение конструкций, технологии изготовления и методов расчета несущей способности и устойчивости песчаных оснований коротких винтовых металлических свай, которые обеспечивают повышение эксплуатационной надежности и снижение стоимости фундаментов.

Методы исследования и использованная аппаратура: экспериментально-теоретические на основе лабораторных и полевых исследований с использованием: маломасштабных моделей, лабораторных лотков и оборудования (весы электронные и механические, компрессионные, сдвиговые приборы, сушильные шкафы и др.), натурные сваи, платформы, балки, гидродомкраты, насосные станции с манометрами давления, индикаторы часового типа, прогибомеры 6 ПАО с ценой деления 0,01 мм, динамические зонды, штангенциркуль, а также методы теории планирования эксперимента и аппарат механики грунтов.

Полученные результаты, их новизна и степень использования. Получены новые экспериментально и теоретически обоснованные данные о несущей способности, деформирования песчаного основания коротких винтовых металлических свай (ВС) от вдавливающих и выдергивающих нагрузок и установлены расчетные схемы их взаимодействия с основанием в зависимости от критерия глубины заложения лопасти относительно поверхности планировки, что позволило разработать более точные методы расчета несущей способности песка, в том числе по величине крутящего момента завинчивания сваи ВС. Разработано новое конструктивное решение коротких свай ВС, обеспечивающее снижение их себестоимости, трудоемкости и материалоемкости, по сравнению с аналогичными известными решениями, не менее чем на 20 %, без снижения несущей способности и увеличения осадок, а также предложения (рекомендации) по проектированию и устройству фундаментов из них, вошедшие во 2-ю редакцию Рекомендации по проектированию и возведению фундаментов из винтовых металлических свай Р5.01.069.2016. Результаты исследований внедрены более чем на 19 малоэтажных (до трех этажей) объектах Республики Беларусь.

SUMMARY

Al-Tameemi Saif Sami Hussein

Bearing capacity and stability of the sand bases of short screw metal piles by the action of the pressing and pulling loads

Keywords: screw metal pile, sand base, pinch and pulling loads, bearing capacity, calculation methods, testing.

The object of study: sand bases screw metal piles.

Subject of study: load-bearing capacity, deformability and sustainability of sand bases of the short screw metal piles pressed and pulling loads.

Objective: improvement and implementation of the design, manufacture and methods of calculation of the bearing capacity and stability of sand base technology of short metal screw piles, which provide increased operational reliability and reduced cost bases

Research methods and used equipment: experimental and theoretical, based on laboratory and field studies using small-scale models, laboratory trays and equipment (electronic and mechanical scales, compression, shear devices, drying boxes, etc.), full-scale piles, platforms, beams, hydraulic cylinders for their uploading, pumping stations with pressure gauges, dial gauges, deflectometer 6 PAO graduated in 0.01 mm, dynamic probes and density indicators, beam compasses, as well as methods of experimental design theory and soil engineering device.

Obtained results, their novelty and utilization degree. New experimental and theoretically founded data are obtained of bearing capacity, deformation of the sand bases of short screw metal piles (SP) on the pressed and pulling loads and found out on their basis structural designs of their mutual reaction with depending on depth criterion of blade location regarding the grading surface. That made it possible to develop more exact methods of their calculation on bearing capacity of sand including torque data when screwing the screw metal pile SP. New design solution of short screw metal piles is developed which provides their cost reduction, labor and materials intensity as compared to the same familiar solutions at least on 20 % without reducing the bearing capacity and increase rainfalls, as well as proposals (recommendations) for the design and installation of foundations included recommendations for the design and construction of the foundations of the screw metal piles R5.01.069.2016. The research results are implemented at more than 19 low-rise objects (up to three floors) of the Republic of Belarus.