

БЕЛОРУССКИЙ НАЦИОНАЛЬНЫЙ ТЕХНИЧЕСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ

УДК 624.131.213: 624.131.35

УДК 624.154.046.2

МОРАДИ САНИ

Бабак

**НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ПЕСЧАНЫХ ОСНОВАНИЙ СВАЙ
ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ**

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.23.02 – Основания и фундаменты,
подземные сооружения

Минск, 2016

Работа выполнена в Белорусском национальном техническом университете

**Научный
руководитель**

НИКИТЕНКО Михаил Иванович,
доктор технических наук, профессор,
ведущий инженер производственно-
технического отдела ОАО «Стройкомплекс»

**Официальные
оппоненты:**

ПОЙТА Петр Степанович,
доктор технических наук, профессор,
ректор учреждения образования «Брестский
государственный технический университет»;

БОСАКОВ Сергей Викторович,
доктор технических наук, профессор,
главный научный сотрудник РУП «Институт
БелНИИС».

**Оппонирующая
организация**

**Учреждение образования «Белорусский
государственный университет транспорта»**

Защита состоится «17» июня 2016 г. в 14⁰⁰ на заседании Совета по защите диссертаций Д 02.05.09 при Белорусском национальном техническом университете по адресу: 220114, Минск, пр. Независимости, 65, к.1, ауд. 202.

E-mail: nrak@bntu.by, тел./факс 8 (017) 265-96-97.

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

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке Белорусского национального технического университета.

Автореферат разослан «16» мая 2016 г.

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

Н.А. Рак

© Моради Сани Б., 2016
© Белорусский национальный
технический университет, 2016

ВВЕДЕНИЕ

В современных условиях строительство различных объектов все чаще ведется в неблагоприятных инженерно-геологических условиях, когда грунты оснований природного сложения имеют малую несущую способность и повышенную сжимаемость. В этом случае приходится прибегать к устройству свайных фундаментов.

Среди множества конструкций и технологий устройства свай до настоящего времени имели преимущество забивные. Однако в последнее время наметилась тенденция к увеличению объема набивных (буронабивных и набивных с уплотненным основанием) и буроинъекционных свай. Важным элементом проектирования свайных фундаментов является предварительная оценка их несущей способности по грунту. В этом вопросе существует различный подход. Многочисленные теоретические решения, учитывающие свойства окружающих сваи грунтов, пока не нашли отражения в существующих нормативных документах из-за противоречивости исходных предпосылок в расчетных схемах, приводящих к сильному отланию от реального взаимодействия свай с грунтами. Нормируемые методы оценки несущей способности свай по грунту базируются на табличных значениях расчетных сопротивлений грунта под нижними концами свай и на боковой поверхности ствола сваи, на результатах полевых испытаний свай статической нагрузкой, а также эталонных свай и свай-зондов или их динамических испытаний забивкой с учетом упругих деформаций грунта и по результатам статического и динамического зондирования грунтов, полевых испытаний одно свайных фундаментов под колонны и отдельные опоры и др. При этом коэффициенты надежности принимают с учетом методов определения несущей способности свай по ТКП 45-5.01-256-2012 и ТКП 45-5.01-254-2012.

Табличные осредненные значения сопротивлений грунтов предполагают их однородность без учета реальных свойств, поэтому могут служить лишь для предварительной оценки несущей способности оснований свай.

Динамические испытания свай на объектах лучше отражают фактическое сопротивление грунтов основания свай по значениям отказов при погружении свай, но также дают существенные погрешности при прогнозе в силу условности входящих в расчетные формулы параметров, особенно применительно к видам грунтов без учета характера напластований и их свойств. Ограниченное количество проводимых таких испытаний сказывается в снижении достоверности получаемых результатов при отличии геологических условий в пятне застройки объекта.

Более перспективны и сопряжены с меньшими затратами времени и средств методы определения несущей способности оснований забивных свай по результатам выполняемых при инженерно-геологических изысканиях на каждом объекте статического и динамического зондирования, которые отражают фактические напластования и свойства грунтов. Такие методы базируются на допущении, что зонд представляет собой маломасштабную модель сваи и создает в грунте аналогичное ей напряженное состояние. Однако все же пока остается неопределенным вопрос о достоверности имеющихся корреляционных зависимостей между результатами испытаний свай статическими нагрузками и зондированием, особенно динамическим, которое приводит к нарушению естественной структуры и свойств некоторых грунтов. Определение несущей способности оснований свай по резуль-

татам зондирования также имеет оценочный характер.

Наибольшее доверие вызывают результаты испытаний натуральных свай статическими нагрузками, достоверность которых зависит от количества повторного их проведения в идентичных условиях для исключения случайного результата, характерного только данной зоне с конкретными напластованиями грунтов и их свойствами. Требуемая для статистической обработки повторяемость опытов ограничивается их сложностью. К тому же такие испытания обычно проводят уже после принятия проектных решений, а их корректировку при больших расхождениях предварительной оценки с фактической несущей способности оснований свай на объекте делают не часто в ущерб надежности и экономичности таких решений.

На базе обзора состояния вопроса соискателем выявлена необходимость повышения достоверности определения несущей способности свай в песчаных грунтах по данным статического зондирования, получивших распространение при инженерных изысканиях для строительства, путем внесения изменений и дополнений в корреляционные зависимости применительно к региональным инженерно-геологическим условиям. Это и определило актуальность темы диссертационной работы.

Отмечен большой вклад, который внесли в решение рассматриваемых вопросов отечественные и зарубежные ученые: А.В. Бондарик, И.А. Бусел, Л.Н.Воробков, Б.В. Гончаров, Ю.А. Ельцов, А.В. Ершов, М.С. Захаров, Г.П.Корчагин, В.Н.Кравцов, Р.А. Мангушев, Л.Г. Мариупольский, М.И.Никитенко, П.С. Пойта, Г.С. Родкевич, Г. Сангера, В.Е. Сеськов, К. Терцаги, Ю.Г.Трофименков, М.У.Або-Farsakh, N. Aoki, M.M. Ahmadi, R. Ch. Barry, J.E.Bowles, M. Bustamante, C. Clayton, B. Clibson, A. Eslami, K. Frank, Fakhero, T.Lunne, Price, R.K. Robertson, Schmertman, A. Yamamoto и др.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Связь работы с крупными научными программами, темами

Тема диссертационных исследований соответствует требованиям:

– «Перечня приоритетных направлений фундаментальных и прикладных научных исследований Республики Беларусь на 2006-2010 годы», утвержденного постановлением Совета министров Республики Беларусь от 17 мая 2005 г. № 512 (п.п. 1.3. Новые строительные материалы, конструкции и технологии, строительная теплофизика);

– списку «Приоритетные направления научно-технической деятельности на 2011-2015 годы», утвержденному Указом Президента Республики Беларусь № 378 от 22 июля 2011 г. (раздел «Промышленные и строительные технологии и производство. Макротехнология «Строительство зданий и сооружений». Критические технологии: строительство зданий и сооружений из монолитного железобетона, высотных (до 300 метров включительно) и энергоэффективных зданий»).

Цель и задачи исследования

Цель диссертационной работы – *повысить достоверность определения несущей способности оснований свайных фундаментов по данным статического зондирования в песчаных грунтах.*

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие основные задачи:

1. Обобщить и систематизировать имеющиеся данные по использованию статического зондирования и пенетрации для определения прочностных характеристик песчаных грунтов, оценки их несущей способности в основаниях свай.
2. Определить возможность оценки прочностных характеристик грунтов в основаниях свайных фундаментов методами пенетрации.
3. Установить зависимости между результатами статического и динамического зондирования, а также и несущей способностью свай по результатам испытаний свай статическими вдавливающими и динамическими нагрузками при погружении в песчаных грунтах.
4. Обосновать совершенствование методики оценки несущей способности оснований свай по данным статического зондирования в песчаных грунтах.
5. Предложить уточнения положений, действующих в Республике Беларусь нормативных документов по определению несущей способности оснований свай по данным статического зондирования в песчаных грунтах.

Объектом диссертационных исследований являлись свайные фундаменты и песчаные грунты в их основаниях.

Предметом исследований являлась несущая способность свай по данным статического зондирования в песчаных грунтах.

Научная новизна и значимость полученных результатов работы заключается:

- в уточнении методики испытаний и эмпирической зависимости значений прочностных характеристик разных по гранулометрическому составу и плотности сложения песчаных грунтов от параметров сопротивления погружению пенетromетра с разными углами конусности за счет поправочных коэффициентов;
- уточнении параметров взаимосвязи сопротивлений песчаных грунтов при статическом зондировании вдоль муфт трения и под острием конуса с сопротивлением по боковой поверхности и пятой свай;
- обосновании по результатам опытов размеров активной зоны в песчаных грунтах выше и ниже конического наконечника зонда при статическом зондировании;
- разработке уточненной методики прогноза несущей способности оснований свай по результатам статического зондирования в песках, основанной на использовании поправочных коэффициентов для получения более достоверных корреляционных зависимостей, учитывающих влияние высоты активной зоны и опрессовки окружающего сваю грунта, а также размеры и технологию устройства свай на несущую способность оснований;
- использовании более достоверных корреляционных зависимостей для определения несущей способности песчаных оснований свай по результатам зондирования при проектировании свайных фундаментов и предложении о включении их в действующие в Республике Беларусь нормативные документы и национальное приложение к европейским нормам.

Положения, выносимые на защиту

1. Уточненные расчетные схемы с экспериментально обоснованными размерами активной зоны в уровне нижнего конца забивных и набивных свай для опре-

деления несущей способности оснований по результатам статического зондирования песчаных грунтов с учетом характера напластований и технологических особенностей устройства свай.

2. Предлагаемые уточнения положений действующих в Республике Беларусь нормативных документов по определению несущей способности оснований свай в песчаных грунтах исходя из результатов статического зондирования с включением установленных зависимостей в национальное приложение используемых в стране европейских норм.

3. Усовершенствованная методика определения несущей способности свай по результатам статических испытаний с корректировкой расчетных схем и введением экспериментально обоснованных поправочных коэффициентов, учитывающих технологические особенности устройства свай и обоснованные параметры активной зоны песчаного грунта выше и ниже пяты сваи.

4. Полученный методом математической статистики экспериментально обоснованный переходный коэффициент $K=1,28$ между значениями углов внутреннего трения различных по плотности сложения песков, определенными по результатам испытаний на сдвиг и пенетрометрии.

5. Результаты обобщения и систематизации существующих зарубежных и отечественных методов расчета несущей способности забивных и набивных свай по результатам статических испытаний грунтов сваями, динамическим зондированием песчаных грунтов и расчетными методами с использованием расчетных сопротивлений грунта вдоль и под нижними концами стволов свай, согласно действующим в Республике Беларусь ТНПА.

Личный вклад соискателя ученой степени

Диссертационная работа и выносимые на защиту ее основные положения полностью базируются на личном вкладе соискателя, который выразился в формулировании задач исследований, определении путей их реализации, разработке программ и методик экспериментов в лабораторных и полевых условиях. Обработка собственных и заимствованных опытных данных, выявление и уточнение корреляционных зависимостей между результатами статического и динамического зондирования песчаных грунтов и испытаний в них свай статическими нагрузками выполнены лично соискателем. Публикации [2, 3, 4, 5, 6, 8, 9] без соавторов базируются на исследованиях соискателя и подготовлены к печати лично. В совместно опубликованных работах [1, 7, 10, 11] основным соавтором является Никитенко М.И. (научный руководитель), оказывавший практическую помощь и содействие на всех этапах выполнения исследований с изложением ее итогов в этих публикациях, а остальные представляли сведения об особенностях технологий устройства свай и грунтовых условий объектов или принимали участие в обработке опытных данных с обсуждением содержания излагаемых в статьях материалов. На все совместные опубликованные с соавторами работы в тексте диссертационной работы приведены ссылки.

Апробация диссертации и информация об использовании ее результатов

Результаты диссертационных исследований докладывались, обсуждались и получили одобрение:

– на семинарах кафедры «Геотехника и экология в строительстве» БНТУ в 2008 – 2015 гг.;

– Международном научно-методическом семинаре «Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовки инженерных кадров Республики Беларусь» (г. Гродно, 27-28 мая, 2010 г.);

– Международной научно-технической конференции «Актуальные вопросы геотехники при решении сложных задач нового строительства и реконструкции» (г. Санкт-Петербург, 10-12 ноября 2010 г.);

– Международной научно-технической конференции «Геотехника Беларуси: теория и практика» (г. Минск, 22-24 октября 2013 г.);

– Международной конференции по геотехнике «Slovak Geotechnical conf: proced. of 11th Slovak Geotechnical conf.» (г. Братислава, Словакия, 3-4 июня 2013 г.).

Опубликование результатов диссертации

Основные положения работы были опубликованы в 11 печатных работах (всего 3,58 печатных листов), из них: 6 статей (2,54 п. л.) в научных журналах по теме диссертации, соответствующих пункту 18 Положения о присуждении ученых степеней и присвоении ученых званий в Республике Беларусь; 5 статей (1,04 печатных листа) в сборниках докладов научных семинаров и конференций.

Структура и объем диссертации

Диссертационная работа состоит из введения, общей характеристики работы, пяти глав основной части диссертации, заключения, библиографического списка из 130 наименований (119 использованных источников, включая 48 зарубежных, и 11 публикаций соискателя), 5 приложений. Работа содержит 160 страниц, из них 142 страницы основного текста, 93 рисунков на 70 страницах, 44 таблицы на 37 страницах, 12 страниц библиографического списка, 9 страниц приложений.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во **введении** обоснована актуальность исследуемой темы, сформулирована цель и определены решаемые задачи, приведены выносимые на защиту основные положения, показаны научная новизна и практическая значимость диссертационной работы, отражен личный вклад соискателя, изложены сведения об апробации и опубликованности результатов выполненных исследований.

В **первой главе** выполнен анализ состояния вопроса с оценкой существующих методов определения механических характеристик грунтов в лабораторных и полевых условиях, описание конструкций и технических характеристик плотномера и установок для статического и динамического зондирования. Описана история развития технологий зондирования грунтов в геотехнической практике. Изложены классификация и сущность зарубежных и отечественных методов определения несущей способности свай по данным статического зондирования, а также выявлены факторы, влияющие на результаты зондирования.

Отмечен большой вклад, который внесли в решение рассматриваемых вопросов отечественные и зарубежные ученые, перечисленные во введении.

Вторая глава содержит результаты собственных лабораторных исследований соискателя по определению сопротивления сдвигу песка средней крупности с постоянной влажностью 5 % при различной плотности в сдвиговом приборе и плотномером.

Эти данные свидетельствуют о возрастании значения ϕ с увеличением степени уплотнения песка. При достаточно простом и быстром определении прочностных характеристик песков в полевых условиях посредством плотномера выявлена необходимость регулирования жесткости используемых пружин применительно к плотности сложения (прочности) испытуемого грунта.

Поскольку при испытаниях плотномером, даже с пружинами разной жесткости, значения ϕ оказались завышенными по сравнению с полученными на сдвиговом приборе, автором предложено вводить переходные коэффициенты в получаемые результаты.

При этом соотношения между данными для плотномера и сдвигового прибора у однородных песчаных фракций разных диаметров с удельными весами $\gamma = 15 \text{ кН/м}^3$ и $\gamma = 16 \text{ кН/м}^3$ составили в среднем 1,26, при $\gamma = 17 \text{ кН/м}^3 - 1,36$. Однако для песка средней крупности при всех значениях удельного веса такое соотношение практически остается одинаковым и составило в среднем 1,16. Это значение предлагается в качестве поправочного коэффициента для песка средней крупности и прочности при интерпретации результатов испытаний плотномером.

Результаты лабораторных испытаний на сдвиг песчаных фракций разных размеров свидетельствуют об увеличении углов внутреннего трения с укрупнением частиц песка. Переходный коэффициент между значениями углов внутреннего трения различных по плотности сложения песков, определенными по результатам испытаний на сдвиг и пенетрометрации, равен $K=1,28$.

Третья глава отражает результаты натуральных испытаний на песчаном берегу реки вдавливаемых моделей свай для изучения их взаимодействия с грунтом основания. При определении прочностных свойств песков за счет зондирования плотномером получены корректирующие коэффициенты, повышающие достоверность опытных данных при оценке изменчивости свойств песков за счет обжатия под существующими фундаментами. Одновременно с помощью малогабаритной переносной установки выполнялось динамическое зондирование грунта с фиксацией числа ударов свободно падающего молотка через каждые 10 см погружении зонда в грунт. Результаты сравнения сопротивлений под конусами плотномера и динамического зонда представлены на рисунке 1.

В результате статистической обработки полевых исследований получена зависимость между количеством ударов (N) в залоге от погружений зонда по 10 см и сопротивлением раздвигу грунта V под наконечником плотномера:

$$V = kN - 0,55, \quad (1)$$

где k – эмпирический коэффициент: $k = 0,14-0,20$ МПа;

V – раздвиг грунта (МПа) конусами с углами 30 и 60°;

N – количество ударов на залоге 10 см;

0,55 – эмпирический коэффициент, имеющий размерность МПа.

Для изучения отличий взаимодействия оснований и моделей трубчатых свай с закрытым и открытым нижним концом с длинами 80 см и 180 см при одинаковом диаметре 80 мм автором проведены их полевые статические испытания в песках средней крупности с влажностью от 3 до 5 % и удельным весом от 15 до 17 кН/м³.

Несущая способность оснований этих свай определяется по результатам динамического зондирования и испытаний статической нагрузкой.

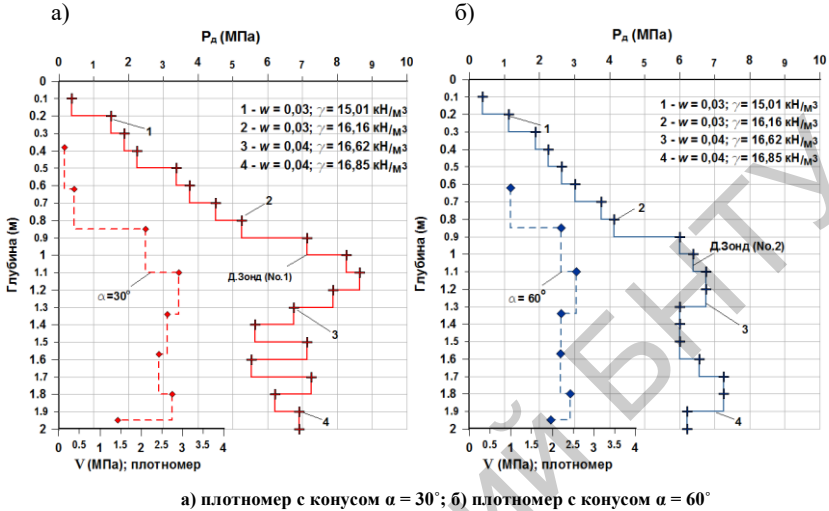


Рисунок 1. – Сопоставление показателей условного динамического сопротивления зонда с сопротивлением грунта под конусом плотномера: сплошные линии – условное динамическое сопротивление зонда (P_d), пунктир – сопротивление грунта под конусом плотномера (V)

В процессе погружения трубчатых свай изменения характеристик окружающего грунта могут отличаться. При открытом конце из проникающего грунта внутри полости создается уплотненная пробка (тампон) за счет мобилизации трения между нею и внутренней поверхностью трубчатой сваи. После этого свая погружается уже с закрытым нижним концом. До создания такого тампона труба погружается более интенсивно с последующим замедлением. Несущая способность грунта под концом трубчатых свай – это комбинация его сопротивлений под тампоном и под кольцевым торцом трубы. Из сравнения результатов испытания грунтов плотномером, динамическим зондированием и трубчатых свай статическими нагрузками, определена взаимосвязь между ними (таблица 1).

Таблица 1. – Значения несущей способности оснований моделей свай по результатам испытаний

Несущая способность оснований моделей свай в МПа			
Методы определения по испытаниям грунтов		Трубчатые сваи длиной	
		$L = 180$ см	$L = 80$ см
сваи на вдавливание статическими нагрузками	с закрытым концом	5,6	5,1
	с открытым концом	4,8	3,6
плотномером	$\alpha = 30^\circ$	2,15	1,8
	$\alpha = 60^\circ$	2,2	1,93
динамическим зондированием	зонд № 1	6,8	6,6
	зонд № 2	7,3	5,5

Из этих результатов видно, что у моделей свай малых масштабов отношение $R_{ст.исп./R_{проч.}}$ в среднем находится в пределах от 2,5 до 2,8, а $R_{ст.исп./R_{д.}}$ – от 0,7 до 0,8 (сопротивление на глубине ниже динамического зонда в 1,4 раза превышает определенное при статической нагрузке для свай с открытым концом). Сопротивление однородного песка под конусом плотномера нарастает с глубиной нелинейно, причем сильно занижено (переходный коэффициент в среднем равен $K = 2,8$) по сравнению с его условным динамическим при зондировании.

Четвертая глава посвящена прогнозу несущей способности оснований свайных фундаментов по результатам статического и динамического зондирования, выполненных совместно с УП «ГЕОСЕРВИС», ОАО «Стройкомплекс», ОАО «Буровая кампания «Дельта» и ООО «ТЕКТОНИТ», а также по табличным расчетным сопротивлениям грунтов. Эти данные получены при анализе и обработке материалов технических отчетов об инженерно-геологических изысканиях на 4 реальных объектах строительства в г. Минске за период 2002 – 2013 годов.

Приведены планы опытных площадок с указанием мест расположения выработок, точек зондирования и испытания свай (типа СФА для первой площадки, забивных и набивных свай – для остальных), а также разрезы с колонками для характерных мест комплексных разведочных работ.

При статическом зондировании (без стабилизации) грунта на площадках использовались: приставка статического зондирования к установке ПБУ, установка голландской фирмы (Geomil) с силой давления от 120 кН до 200 кН и аппаратура АСЗ-3 с зондом диаметром 36 мм, а каротажные станции СПК с зондом диаметром 62 мм и СПК-Т с зондом диаметром 80 мм.

Результаты испытаний грунтов сваями статической вдавливающей нагрузкой оформляли в виде графиков зависимости осадки от нагрузки.

При статистической обработке сопоставлены прогнозируемые значения несущих способностей свай по результатам статического и динамического зондирования на 4-х площадках (таблица 2), что позволило установить взаимосвязь между ними в виде поправочных коэффициентов.

Обработка обобщенных данных при коэффициенте детерминации $R^2 = 0,928$ позволила получить следующую расчетную формулу (2) взаимосвязи между результатами статического и динамического зондирования:

$$F_{сз.} = (1,14 \pm 0,07_{0,95}) F_{дз.}, \quad (2)$$

где $F_{дз.}$ – прогнозируемая несущая способность свай по результатам динамического зондирования, кН;

$F_{сз.}$ – то же по результатам статического зондирования, кН;

Таблица 2. – Параметры статистической обработки данных статического и динамического зондирования для всех площадок

Наименование статистических показателей	Значение показателей при расчетах несущей способности свай по статическому и динамическому зондированию		
	по площадке №1 (сваи СФА)	по площадке № 2-4 (бурунабивных и забивных свай)	обобщённые результаты
Диаметр свай, м	0,9	от 0,3 до 0,425	от 0,3 до 0,9
Количество определений	12	10	22
Среднее значение отношения $F_{сз.}/F_{дз.}$	1,104	1,346	1,14
Среднее квадратическое отклонение $F_{сз.}/F_{дз.}$	0,15	0,25	0,15
Средняя относительная погрешность при определении $F_{сз.}/F_{дз.}, \%$	8,33	13,45	6,31
Коэффициент асимметрии A_s	0,52	0,38	-0,24
Количество значений отношений $F_{сз.}/F_{дз.}$ (в %), находящихся в пределах ± 20 % от значения $F_{сз.}/F_{дз.}=1$ до корректировки	95,46	63,46	56,09
Количество значений отношений $F_{сз.}/F_{дз.}$ (в %), находящихся в пределах ± 20 % от значения $F_{сз.}/F_{дз.}=1$ после корректировки	100	68,18	63,64

Значения несущей способности оснований свай СФА, бурунабивных и забивных, полученные расчетом и при их испытаниях, часто существенно различаются между собой.

В результате проведенного статистического анализа на площадках получены зависимости соотношений между результатами испытаний статической нагрузкой свай и расчетным сопротивлением по нормативным документам (таблица 3).

Таблица 3. – Статистический анализ данных испытаний статической нагрузкой свай и расчетного сопротивления по нормам для всех площадок

Наименование статистических показателей	Значение показателей при расчетах несущей способности свай по испытаниям статической нагрузкой свай и расчетного сопротивления по нормам		
	по площадке №1 (сваи СФА)	по площадке № 2-4 (набивных и забивных свай)	обобщённые результаты
1	2	3	4
Диаметр свай, м	0,9	от 0,3 до 0,425	от 0,3 до 0,9
Количество определений	16	56	72
Среднее значение отношения $F_{ст.исп.}/F_{расч.}$	1,12	1,17	1,15

Окончание таблицы 3

1	2	3	4
Среднее квадратическое отклонение $F_{ст.исп.}/F_{расч.}$	0,44	0,34	0,33
Средняя относительная погрешность при определении $F_{ст.исп.}/F_{расч.}, \%$	21,95	7,69	6,72
Коэффициент асимметрии A_s	0,21	0,96	0,52
Количество значений $F_{ст.исп.}/F_{расч.}$ (в %), находящихся в пределах ± 20 % от значения $F_{ст.исп.}/F_{расч.} = 1$ до корректировки	50	52	53
Количество значений $F_{ст.исп.}/F_{расч.}$ (в %), находящихся в пределах ± 20 % от значения $F_{ст.исп.}/F_{расч.} = 1$, после корректировки	57	65	63

Обработка обобщённых данных позволила получить при коэффициенте детерминации $R^2 = 0,875$ следующую расчетную формулу:

$$F_{ст.исп.} = (1,15 \pm 0,078_{0,95}) F_{расч.}, \quad (3)$$

где $F_{ст.}$ – несущая способность свай по результатам испытаний статической нагрузкой свай, кН;

$F_{расч.}$ – то же прогнозируемая по существующим нормам, кН.

Значения несущей способности оснований натуральных свай по данным статического зондирования в большинстве случаев превосходят полученные при динамическом зондировании результаты в диапазоне от 1,10 (СФА) до 1,35 (буронабивные и забивные) раза. При этом они в среднем превосходят полученные при расчетах по нормам для всех точек в 1,14 раза, а вычисленные по результатам динамических испытаний набивных свай превосходят в среднем в 1,42 раза.

Пятая глава посвящена разработке методики определения несущей способности песчаных оснований свай по данными их статического зондирования на основе уточнения зарубежных и используемого в Беларуси методов. Оценивали результаты для 67 свай на объектах и проводился статистический анализ для того, чтобы определить в сопоставлении с испытаниями натуральных свай наиболее достоверный из следующих трех методов определения несущей способности их оснований по результатам статического зондирования: Бустаманте и Гианселли (метод LCPC), Шмертманна и Нотингхама и по Еврокоду 7 (Eurocode 7). Соответственно представлена схема статистической оценки с применением четырёх различных критериев для определения достоверности данных методов. В этом исследовании использованы следующие критерии:

1. Уравнения для наиболее подходящей линии отношения расчетной ($F_{сз.}$) к измеренной несущей способности ($F_{ст.}$) с соответствующим коэффициентом детерминации (R^2).

2. Среднее арифметическое (μ) и стандартное отклонение (σ) для $F_{сз.}/F_{ст.}$.

3. 50 и 90 - процентные кумулятивные вероятности (P50 и P90) для $F_{сз.}/F_{ст.}$.

4. 20 - процентный уровень точности, полученный из логнормального распределения для отношений $F_{сз.}/F_{ст.}$.

Расчитанные несущие способности ($F_{сз.}$) по отношению к измеренным значениям ($F_{ст.}$) показаны на графиках их соотношений для разных методов. Для каждого из них анализ регрессии проводился с тем, чтобы получить более подходящую линию отношений $F_{сз.}/F_{ст.}$.

При 20%-ой точности методы определения несущей способности оснований свай по П 2-2000 к СНБ 5.01.01- 99 и LCPC показывают самую высокую вероятность (45,79% и 39,37%) и занимают первое место, а метод Еврокода 7 находится на последнем месте (19,89%).

Общая оценка методов прогноза несущей способности свай в песках исходя из результатов их статического зондирования по четырем категориям производилась с использованием рангов RI и приведена в таблице 4.

Таблица 4. – Статистические и вероятностные оценки для разных методов

Методы определения несущей способности	Для подходящей линии			Геометрические расчеты $F_{расч.}/F_{ст.}$			Кумулятивная вероятность $F_{сз.}/F_{ст.}$			Разброс от средней линии $\pm 20\%$		RI
	$F_{ст.}/F_{сз.}$	R^2	R1	s	V _{6%}	R2	P ₅₀	P ₉₀	R3		R4	
П 2-2000 к СНБ	1,326	0,948	3	0,176	23,60	1	0,78	0,96	2	45,79	1	7
LCPC	0,853	0,948	1	0,297	24,77	2	1,12	1,62	3	39,37	2	8
Еврокод 7	0,734	0,938	4	0,408	29,09	4	1,35	1,96	4	19,89	4	16
Шмертманна	1,15	0,870	2	0,368	39,31	3	0,84	1,43	1	37,37	3	9

Например, ранг RI для метода Шмертманна определяется суммированием R1 – R4 (RI = R1 + R2 + R3 + R4 = 9). В итоге сравнения величин RI для всех методов оказалось, что лучшим является метод по П 2-2000 к СНБ (RI = 7), а по LCPC занимает второе место (RI = 8).

Предлагаемая автором методика расчета несущей способности песчаных грунтов в основании свай буронабивных и забивных по данным статического зондирования разработана на базе синтеза существующих методов и собственных исследований. Сущность методики заключается в использовании усовершенствованных корреляционных зависимостей, учитывающих влияние высоты активной зоны и опрессовки окружающего сваю грунта, а также размеры сваи и технологию их устройства на несущую способность оснований. Данная методика проверена посредством сопоставления этих результатов с полученными при испытании 54 натуральных свай статическими нагрузками на одном из объектов.

Анализ литературных источников позволил установить, что одним из влияющих факторов при определении среднего сопротивления грунтов под конусом зонда является предел активной зоны в конце свай, определяемый в соответствии со схемами расположения в ней слоев грунта.

Несущую способность песчаных грунтов в основании сваи со стволом постоянного сечения определяем по следующей формуле:

$$Q = Q_b + Q_s = k_c \bar{q}_c A_b + k_f f_p A_s, \quad (4)$$

где Q_b – сопротивление грунта под пятой сваи, МН;

Q_s – сопротивление грунта вдоль ствола сваи, МН;

k_c – поправочный коэффициент условий работы грунта под пятой сваи, безразм.;

\bar{q}_c – среднее значение сопротивления грунта в пределах активной зоны у пяты сваи по данным статического зондирования, МПа;

A_b – площадь поперечного сечения ствола или пяты сваи в месте наибольшего ее уширения, м²;

k_f – поправочный коэффициент условий работы грунта вдоль боковой поверхности ствола сваи, безразм.;

f_p – среднее значение сопротивления грунта сдвигу вдоль боковой поверхности ствола сваи, МПа;

A_s – площадь боковой поверхности ствола сваи, м².

В случае наличия уширения вдоль стволов свай следует дополнительно учитывать доли сопротивления грунтов под их кольцевыми опорными поверхностями на соответствующих глубинах.

Поправочные коэффициенты k_c и k_f , по исследованиям автора, предлагается определять по следующим формулам:

$$k_c = \alpha \left(\frac{\bar{q}_c}{P_A} \right)^{-0,455}, \quad k_f = \frac{A_0}{2A_s}, \quad (5)$$

где A_0 – площадь боковой поверхности на единицу длины ствола сваи, $A_0 = 1 \text{ м}^2$;

A_s – площадь боковой поверхности ствола сваи, м²;

P_A – сопротивление грунта, $P_A = 1 \text{ МПа}$;

α – безразмерный коэффициент, учитывающий технологию погружения сваи, глубину ее погружения в несущий слой грунта с его мощностями в уплотненной зоне выше и ниже пяты свай, принимаем 1,9 для всех схем, кроме схемы II, для которой определяем по таблице 5.

При назначении коэффициентов k_c и k_f используем следующие условия:

При $\bar{q}_c > 25$ принимаем $\bar{q}_c = 25$ МПа;

При $f_p > 0,125$ принимаем $k_f = \frac{A_0}{A_s}$.

Среднее сопротивление грунта под конусом зонда в уплотненной (активной) зоне у конца сваи определяется по следующей формуле:

$$\bar{q}_c = \frac{1}{A+B} \int_{h+A}^{h+B} \bar{q}_c(h) dh, \quad (6)$$

где A – толщина i -го слоя грунта выше конца свай в пределах активной зоны, м;

B – толщина i -го слоя грунта ниже конца сваи в пределах активной зоны, м;

\bar{q}_c – среднее значение удельного сопротивления i -го слоя грунта под конусом зонда, МПа;

h – длина сваи, м.

Границы активных зон (A) и (B) определяются в соответствии со схемами

расположения слоев грунта возле нижних концов свай. В рассматриваемом автором случае выделено пять видов схем:

– **Схема I** (рисунок 2,а) – расположение сваи в однородном грунте. При этом толщина i -го слоя грунта выше ее пяты в пределах активной зоны принимает значение четырехкратного диаметра сваи ($A = 4D$), а толщина i -го слоя грунта ниже пяты в пределах активной зоны равна диаметру сваи, т.е. $B = 1D$, D – диаметр ствола сваи, м.

– **Схема II** (рисунок 2,б) – неоднородные грунты, которые в конце сваи имеют несущий слой песчаного грунта, причем под нижним концом ствола располагаются слои с большими значениями сопротивлений, а выше – с меньшими их значениями. В данной схеме A принимает значение l_1 , а $B = l_2$. Расчет по схеме II осуществляется по трем вариантам, при этом значения l_1 и l_2 зависят от высоты погружения конца сваи в несущий слой и от варианта схемы. Далее приведем описание 3-х возможных вариантов схемы II:

– **Вариант 1** (рисунок 2,б.1) – глубина погружения сваи в несущий слой грунта не превышает 8-ми диаметров свай. В этом варианте толщины i -х слоев грунта выше и ниже конца свай в активной зоне одинаковы со значением $A = B = 1,5D$.

– **Вариант 2** (рисунок 2,б.2) – глубина погружения сваи в несущий слой грунта превышает $8D$, а ее конец находится в малопрочных или песках средней прочности. При этом в активной зоне толщина i -го слоя грунта выше конца свай составляет $A = 2D$, а ниже его – $B = 4D$. Однако, в отличие от варианта 1 схемы II, в данном случае принимается измененное значение коэффициента α , который учитывает технологию погружения и диаметр свай (таблица 5).

– **Вариант 3** (рисунок 2,б.3) – глубина погружения сваи в несущий слой грунта превышает $8D$, а ее конец находится в прочных или очень прочных песках. При этом в пределах активной зоны толщины i -х слоев грунта принимают значения выше конца свай $A = 1D$, а ниже его – $B = 2D$.

В целом для схемы II при определении несущей способности сваи по данным статического зондирования следует принимать значения l_1 , l_2 , α для разных глубин (высот) погружения в несущий слой грунта (h_d) при разных видах свай и диаметрах их стволов согласно таблице 5.

Таблица 5. – Значение l_1 , l_2 , α для разных глубин погружения в несущий слой грунта (h_d) при разных видах свай и диаметрах их стволов

Глубина погружения конца сваи в несущий слой грунта	Вариант схемы II	l_1	l_2	α		
				набивные сваи		забивные сваи
				$D = 0,36 \text{ м}$	$D = 0,9 \text{ м}$	$D = 0,3 \text{ м}$
$h_d < 8D$	1	$1,5D$	$1,5D$	1,9	1,15	1,9
$h_d \geq 8D$	2	$2D$	$4D$	1,9	1,5	2,5
	3	$1D$	$2D$	1,5	1,5	2,5

– **Схема III** (рисунок 2,в) представляет собой особый случай схемы II, когда ниже конца сваи имеются слои грунта с большими значениями сопротивлений конуса, а выше залегают слои слабых грунтов (ил, торф и др.). По данной схеме в активной зоне выше конца сваи толщины i -х слоев грунта принимают значения: в

конце сваи толщины несущего слоя $A = S$ (S – толщина несущего грунта в конце сваи), а ниже ее конца в пределах активной зоны $B = 1D$. При этом пределы зоны (A) не охватывают несущий грунт.

– **Схема IV** (рисунок 2,з) применяется в неоднородном грунте, когда ниже конца сваи залегают грунты с меньшими, а выше – с большими значениями сопротивлений конуса. В этом случае толщины i -х слоев грунта в пределах активной зоны принимают значения: выше конца свай $A = 2D$, а ниже его – $B = 4D$.

– **Схема V** (рисунок 2,д) применяется в неоднородном грунте, когда ниже конца сваи залегают грунты с большими значениями сопротивления конуса, в то же время выше и ниже имеются слои грунта с меньшими значениями сопротивлений конуса. В этой схеме толщины i -х слоев грунта в активной зоне выше и ниже конца свай принимают одинаковые значения, т.е. $A = B = 4D$.

Для определения сопротивления вдоль боковой поверхности ствола сваи используем следующую формулу:

$$f_p = \frac{\bar{q}_c}{k_s}, \quad (7)$$

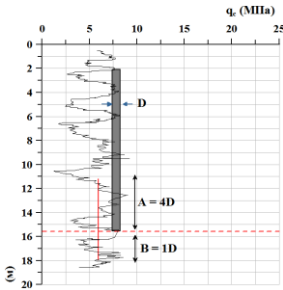
где k_s – безразмерный эмпирический коэффициент, значение которого зависит от разновидности грунта вдоль сваи и технологии заглубления сваи, согласно Бустаманте и Гианцелли (LCPC) определяется по таблице 6.

Таблица 6. – Значения коэффициента k_s

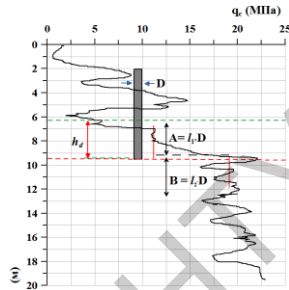
Грунт	q_c , МПа	k_s			
		I		II	
		A	B	A	B
Глина (clay)	< 1,0	30	90	90	30
	1,0–5,0	40	80	40	80
	> 5,0	60	120	60	120
Пылеватый грунт (silt)	≤ 5,0	60	150	60	120
	> 5,0	60	120	60	120
Песок (sand)	< 5,0	60	150	60	120
	5,0–12,0	100	200	100	200
	> 12,0	150	300	150	200

Достоверность предлагаемой методики расчета несущей способности песчаных оснований свай по результатам статического зондирования оценена статистическим анализом данных, результаты которого показаны в таблице 7. Из нее видно, что практически в большинстве случаев несущие способности свай, определенные с использованием предлагаемой методики, находятся в пределах $\pm 20\%$ от линии абсолютной сходимости.

а – Схема I: ($A = 4D, B = 1D$)

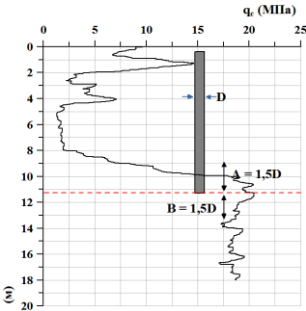


б – Схема II: ($A = l_1 D, B = l_2 D$)

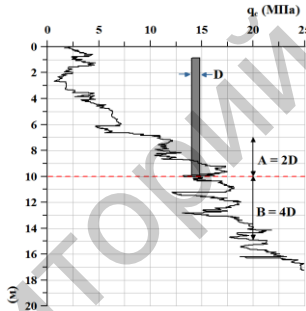


Варианты для схемы II

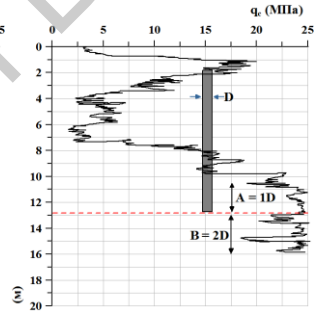
б.1. – ($A = B = 1,5D$)



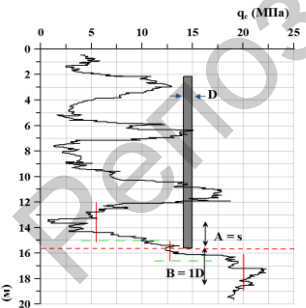
б.2. – ($A = 2D, B = 4D$)



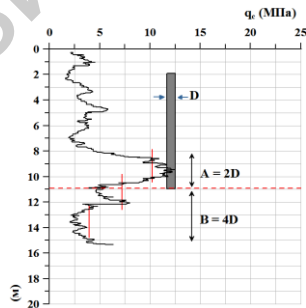
б.3. – ($A = 1D, B = 2D$)



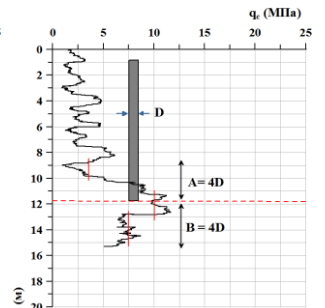
в. – Схема III: ($A = s, B = 1D$)



г. – Схема IV: ($A = 2D, B = 4D$)



д. – Схема V: ($A = 4D, B = 4D$)



D – диаметр сваи; h_2 – заглублённая часть сваи погружена в несущий слой

Рисунок 2. – Схемы расположения слоев грунта возле нижних концов свай для определения пределов активных зон (A) и (B)

Таблица 7. – Статистический анализ результатов определения прогнозируемых значений несущих способностей набивных и забивных свай по методам предлагаемым, зарубежным и применяемым в Республике Беларусь

Наименование статистических показателей	Осреднённое значение показателей при расчетах несущей способности свай по статическому зондированию и испытаниям статической нагрузкой набивных и забивных свай по методам					
Методы определения несущих способностей свай	П 2-2000 к СНБ	LCPC	Шмертманн	Еврокод 7	предлагаемым автором	
Диаметр свай, м	от 0,3 до 0,425					
Количество определений	54	54	54	54	54	
Среднее значение отношения $F_{сз.}/F_{ст.исп.}$	0,78	1,17	0,87	1,36	0,92	
Среднее квадратическое отклонение $F_{сз.}/F_{ст.исп.}$	0,175	0,297	0,368	0,408	0,110	
Средняя относительная погрешность при определении $F_{сз.}/F_{ст.исп.}$, %	4,78	8,15	17,03	8,60	3,38	
Коэффициент асимметрии A_s	-0,01	0,83	0,41	0,32	0,35	
Количество значений отношений $F_{сз.}/F_{ст.исп.}$ (в%), находящихся за пределами ± 20 % от значения $F_{сз.}/F_{ст.исп.} = 1$	- в сторону завышения	0,8	43	67	30	0,5
	- в сторону занижения	53,35	2	6	30	13,21

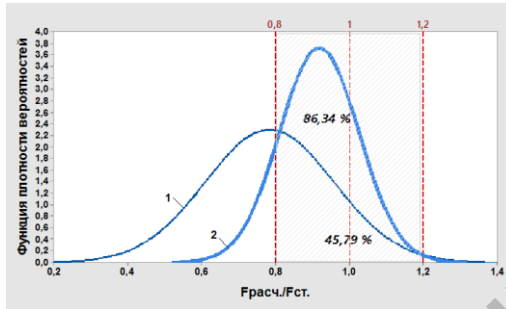
На базе такой обработки при коэффициенте детерминации $R^2 = 0,986$ для набивных и забивных свай с диаметрами от 0,3 до 0,425 м получаем следующую расчетную формулу:

$$F_{ст.исп.} = 1,08F_{сз.}, \quad (8)$$

где $F_{ст.исп.}$ – несущая способность свай по результатам их испытаний статической нагрузкой, кН;

$F_{сз.}$ – то же, прогнозируемая по результатам статического зондирования по предлагаемому способу, кН.

Статистическая обработка прогнозируемой несущей способности оснований свай по предлагаемой методике показывает, что площадь под кривой нормального распределения составляет 86,34% при среднем арифметическом 0,92 от общей площади полученных данных под кривой нормального распределения и находящихся в диапазоне от 0,8 до 1,2 по сравнению с результатами согласно П2-2000 к СНБ, которые составляют 45,79% при среднем арифметическом 0,785 (рисунок 3).



1 – по П 2-2000 к СНБ; 2 по предлагаемой уточненной методике
Рисунок 3. – Обобщенное нормальное распределение $F_{расч.}/F_{ст.исп.}$ для разных методов

Результаты исследований свидетельствуют, что предлагаемая методика расчета несущей способности по результатам статического зондирования в песчаных грунтах позволяет учитывать технологию погружения и диаметр свай, глубину её погружения в несущий слой грунта, уточненные пределы активной зоны выше и ниже конца сваи для каждого графика статического зондирования.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Основные научные результаты диссертации

1. Впервые для грунтовых условий Республики Беларусь, на основе выполненного вероятностно-статистического анализа и систематизации результатов параллельных статических испытаний оснований различных типов забивных и набивных свай и их грунта способом статического зондирования, получены новые экспериментально обоснованные данные об оптимальных размерах активной зоны в уровне нижнего конца свай. Это позволило уточнить расчетные схемы оснований забивных и набивных свай для определения несущей способности по результатам статического зондирования с учетом напряженно-деформируемого состояния и прочностных характеристик различных по свойствам, гранулометрическому составу, характеру напластований, однородности песчаного грунта и, как следствие, повышение качества проектирования фундаментов [4, 6].

2. Выведены, на основе обработки вероятностно-статистическим способом статических испытаний свай и грунта методом статического зондирования, экспериментально обоснованные эмпирико-корреляционные зависимости и коэффициенты перехода между данными статического испытания песчаных оснований вертикально нагруженных свай и их испытаний методом статического зондирования, позволяющие оценивать несущую способность их песчаных оснований без проведения дорогостоящих натурных статических испытаний свай для сооружений II и III уровня ответственности [4, 9].

3. Усовершенствован метод расчета несущей способности песчаных оснований забивных и набивных свай по результатам статического зондирования грунта

посредством использования экспериментально-обоснованных расчетных схем с уточненными размерами активной зоны при учете напряженно-деформируемого состояния и характеристик грунта в ней, что позволяет повысить, по сравнению с известными методиками, точность получаемых результатов не менее чем на 10 % [2, 4].

4. Уточнен переходный коэффициент между величиной угла внутреннего трения, определяемого в полевых и лабораторных условиях методом одноплоскостного среза и по результатам пенетрации, который для песчаного грунта равен $K=1,28$ [5, 8].

5. Для песчаных грунтов установлена зависимость между несущей способностью свай, определяемой по результатам испытаний грунта статическим и динамическим зондированием, статическими испытаниями сваями, и расчетом по различным методикам, действующих в Республике Беларусь ТНПА (ТКП 45-5.01-256-2012, П13-01, П19-04 к СНБ 5.0.01.-99) [1, 3, 7, 10, 11].

6. Апробация результатов диссертационных исследований при проектировании реальных объектов в грунтовых условиях Республики Беларусь подтвердила их эффективность, выраженную в снижении стоимости устройства свай не менее чем на 10-20 %, за счет уменьшения длины или количества в плане фундамента, обоснованных более точной оценкой их несущей способности в песчаных грунтах Республики Беларусь [6].

Рекомендации по практическому использованию результатов

1. Экспериментально-теоретические результаты исследований целесообразно использовать при геотехническом мониторинге для выявления изменчивости характера напластования и свойств песков под фундаментами, а также для определения физико-механических характеристик песчаных грунтов в насыпных подушках, обратных засыпках и т.п.

2. Предложенную автором, уточненную методику прогноза несущей способности песчаных грунтов в основаниях свай по результатам их статического зондирования следует использовать в проектной практике Республики Беларусь для повышения достоверности получаемых результатов и снижения стоимости свайных фундаментов.

3. Аналогичные выполненным исследования целесообразно продолжить в глинистых и других видах грунтов для уточнения прогноза их несущей способности в основаниях свай различного способа устройства по данным статического и динамического зондирования таких грунтов.

4. Уточненную методику определения несущей способности оснований свай по результатам статического зондирования в песчаных грунтах предлагается учесть в нормативных документах Республики Беларусь и при корректировке приложения к ТКП EN Еврокод 7 для обеспечения повышения качества и достоверности проектирования фундаментов.



СПИСОК ПУБЛИКАЦИЙ СОИСКАТЕЛЯ

Статьи в журналах в соответствии со Списком и Перечнем ВАК

1. Никитенко, М. И. Методы определения несущей способности свай по технологии SFA / М. И. Никитенко, Б. Моради Сани, Н. В. Черношей // *Строительная наука и техника*. – 2011. – №1 (34). – С.43–49.
2. Моради Сани, Б. Предварительная оценка несущей способности песчаных оснований одиночных свай по международным стандартам / Б. Моради Сани // *Вестн. Полоц. гос. ун-та. Сер. Ф, Строительство. Прикл. науки*. – 2015. – № 8. – С. 62–70.
3. Моради Сани, Б. Анализ результатов зондирования испытаний свай SFA / Б. Моради Сани // *Архитектура и строительство*. – 2015. – № 3. – С. 54–58.
4. Моради Сани, Б. Статическое зондирование в геотехнической практике / Б. Моради Сани // *Архитектура и строительство*. – 2015. – № 4. – С. 76–81.
5. Моради Сани, Б. Определение прочностных свойств песчаных грунтов / Б. Моради Сани // *Архитектура и строительство*. – 2015. – № 6 – С. 62–65.
6. Моради Сани, Б. Совершенствование метода прогноза несущей способности песчаных оснований свай по результатам статического зондирования / Б. Моради Сани // *Архитектура и строительство*. – 2016. – № 2. – С. 56–60.

Статьи в материалах конференций

7. Никитенко, М. И. Анализ результатов испытаний буронабивных свай системы SFA. / М. И. Никитенко, Б. Моради Сани, Н. В. Черношей, В. И. Шипица / *Актуальные вопросы геотехники при решении сложных задач нового строительства и реконструкции: материалы науч.-техн. конф., СПб, 10-12 нояб. 2010 г. / Санкт-Петербургский гос. арх.-строит. ун-т. – СПб, 2010. – С. 213–218.*
8. Моради Сани, Б. Определение несущей способности моделей трубчатых свай в песчаных грунтах / Б. Моради Сани // *XVII Международный научно-методический семинар «Перспективы развития новых технологий в строительстве и подготовке инженерных кадров Республики Беларусь»: сб. науч. ст. / ГрГУ им. Янки Купалы ; редкол.: Т. М. Пецольд (гл. ред.) [и др.]. – Гродно: ГрГУ, 2010. – С.419–422.*
9. Моради Сани, Б. Анализ существующих международных систем классификации грунтов / Б. Моради Сани // *Геотехника Беларуси: наука и практика: материалы междунар. науч.-техн. конф, Минск, 23-25 окт. 2013 г. / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол.: М.И. Никитенко (гл.ред.) [и др.]. – Минск, 2013. – С.362–377.*
10. Никитенко, М. И. Прогноз несущей способности вибронабивных свай при динамических испытаниях / М. И. Никитенко, Б. Моради Сани // *Геотехника Беларуси: наука и практика: материалы междунар. науч.-техн. конф., Минск, 23-25 окт. 2013 г. / Белорус. нац. техн. ун-т ; редкол.: М.И. Никитенко (гл. ред.) [и др.]. – Минск, 2013. – С.224–232.*
11. Moradi Sani, B. Prediction of bearing capacity of vibrated cast in places piles under dynamic load tests / B. Moradi Sani, M. I. Nikitenko // *Slovak Geotechnical conf: proced. of 11th Slovak Geotechnical conf., Bratislava, 3-4 Jun. 2013 year / Slovenská Technická Univerzita v Bratislave. – Bratislava, 2013. – P. 381 – 386.*

МОРАДІ САНІ Бабак**НЯСУЧАЯ ЗДОЛЬНАСЦЬ ПЯШЧАНЫХ АСНОЎ ПАЛЬ
ПА ВЫНІКАХ СТАТЫЧНАГА ЗАНДЗІРАВАННЯ**

Ключавыя словы: пяшчаны грунт, плотномер, пранікненне, трываласць, зандзіраванне статычнае і дынамічнае, нясучая здольнасць, статычная нагрузка, асновы, паля, падмурак.

Аб'ект даследавання: палевыя падмуркі і пяшчаныя грунты ў іх асновах.

Прадмет даследавання: нясучая здольнасць паль па дадзеных статычнага і дынамічнага зандзіравання ў пяшчаных грунтах.

Мэта працы: павысіць дакладнасць вызначэння нясучай здольнасці асноў палевых падмуркаў па дадзеных дынамічнага і статычнага зандзіравання ў пяшчаных грунтах.

Метады даследавання і апаратура: лабараторныя і палявыя доследы на фізічных мадэлях і ў натуре, гідраўлічныя манометры, зонд дынамічны, прагібамеры Аістава і індыкатары гадзіннага тыпу, гідрадамкратамі, платнамер.

Атрыманія вынікі, іх навізна і ступень выкарыстання.

Атрыманы карэляцыйныя сувязі і эмпірычная залежнасць значэнняў трывальных характарыстык розных па грануламетрычнаму складу і па паказчыку максімальнай неаднастайнасці пяшчаных грунтоў ад параметраў супраціву апусканню конусу пенетрометра. Удакладнены і прапанаваны для ўключэння ў нарматыўныя дакументы Рэспублікі Беларусь, а таксама ў нацыянальнае прыкладанне да еўрапейскіх нормаў, якія выкарыстоўваюцца ў краіне, карэляцыйныя залежнасці паміж нясучай здольнасцю паль па выніках выпрабаванняў статычнымі ўціскаючымі нагрузкамі і параметрамі статычнага і дынамічнага зандзіравання ў пяшчаных грунтах. Распрацавана больш дакладная метадыка прагнозу нясучай здольнасці пяшчаных асноў паль па выніках статычнага зандзіравання, заснаваная на выкарыстанні удакладненых карэляцыйных залежнасцяў, якія ўлічваюць уплыў вышыні актыўнай зоны і характар апрацоўкі навакольнага палю грунту, а таксама тэхналогію іх выкарыстання і памеры паль на апорную здольнасць падстаў пяшчаных грунтаў. Прымяненне прапанаванай метадыкі пры праектаванні дазволіла скараціць патрабаваную колькасць паль ў падмурках на 10 – 20 %

МОРАДИ САНИ Бабак**НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ПЕСЧАНЫХ ОСНОВАНИЙ СВАЙ
ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ**

Ключевые слова: песчаный грунт, плотномер, пенетрация, прочность, зондирование статическое и динамическое, несущая способность, статическая нагрузка, основание, свая, фундамент.

Объект исследования: свайные фундаменты и песчаные грунты в их основаниях.

Предмет исследования: несущая способность свай по данным статического и динамического зондирования в песчаных грунтах.

Цель работы: повысить достоверность определения несущей способности оснований свайных фундаментов по данным динамического и статического зондирования в песчаных грунтах.

Методы исследования и аппаратура: лабораторные и полевые опыты на физических моделях и в натуре, гидравлические манометры, зонд динамический, прогибмеры Аистова и индикаторы часового типа, гидродомкраты, плотномер.

Полученные результаты, их новизна и степень использования.

Получены корреляционная связь и эмпирическая зависимость значений прочностных характеристик разных по гранулометрическому составу и по показателю максимальной неоднородности песчаных грунтов от параметров сопротивления погружению конуса пенетromетра. Уточнены и предложены для включения в действующие в Республике Беларусь нормативные документы, а также в национальное приложение используемых в стране европейских норм корреляционные зависимости между несущей способностью свай по результатам испытаний статическими вдавливающими нагрузками и параметрами статического и динамического зондирования в песчаных грунтах. Разработана более достоверная методика прогноза несущей способности песчаных оснований свай по результатам статического зондирования, основанная на использовании уточненных корреляционных зависимостей, учитывающих влияние высоты активной зоны и характер опрессовки окружающего сваю грунта, а также технологию их устройства и размеры свай на несущую способность оснований. Применение предложенной методики при проектировании позволило сократить требуемое количество свай в фундаментах на 10 - 20%.

SUMMARY

MORADI SANI Babak

THE BEARING CAPACITY OF PILES IN SANDY SOILS ON THE BASIS OF CONE PENETRATION TEST RESULTS

Key words: sandy soil, ground, densitometer, penetration, durability, static and dynamic penetration test, bearing capacity, static loading test, dynamic loading test, pile, foundation.

Object of the research: pile foundations and sandy soils in their base.

Subject of the research: bearing capacity of piles in sandy soils based on cone penetration test and dynamic cone penetration test.

Aim of the research: Improve the accuracy of the determination of the bearing capacity of the pile foundation in sandy soils using dynamic and static cone penetration test.

Method of the research and apparatus: Laboratory and field tests on physical models and in nature, hydraulic pressure gauges, dynamic probe, deflectometer Aistova and dial gauges, hydraulic jack, densitometer.

Results of the research, their novelty and order of utilization.

Obtained correlation and the empirical values relating to strength characteristics of different particle size distribution and maximum un-uniformity of sandy soils on the parameters of resistance of cone Penetrometer.

Clarify and offers correlations between the load-bearing capacity of piles based on the results of the static loading test and static and dynamic cone penetration tests in sandy soils for inclusion in the normative documents of the Republic of Belarus and in the standards of the European countries. Developing more reliable method for predicting of the bearing capacity of piles in sandy soils based on the results of the static cone penetration test, based on the use of refined correlations that take into account the effect of the height of the active zone and character of soil surrounding at the end of the pile, also the technology of the device and the size of the piles on the carrying loads to the bearing strata. Application of the proposed methodology for the design reduced within 10 - 20% the required number of piles in the foundations. Developing more reliable methods of prediction of bearing capacity the sandy grounds of piles based on the results of the static sounding, based on the use of refined correlations that take into account the effect of the height of the core and character molding surrounding the pile of soil, as well as the technology of the device and the size of the piles on the carrying capacity of the grounds. Application of the proposed methodology for the design reduced the required number of piles in the foundations of 10 - 20%.

Научное издание

МОРАДИ САНИ Бабак

НЕСУЩАЯ СПОСОБНОСТЬ ПЕСЧАНЫХ ОСНОВАНИЙ СВАЙ
ПО РЕЗУЛЬТАТАМ СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

по специальности 05.23.02 – Основания и фундаменты,
подземные сооружения

Подписано в печать 12.05.2016. Формат 60x84 $\frac{1}{16}$ Бумага офсетная. Ризография.

Усл. печ. л. 1,34. Уч.-изд. л. 1,04. Тираж 90. Заказ 444.

Издатель и полиграфическое исполнение: Белорусский национальный технический университет.

Свидетельство о государственной регистрации издателя, изготовителя, распространителя
печатных изданий № 1/173 от 12.02.2014. Пр. Независимости, 65. 220013, г. Минск.