

doi: 10.5862/MCE.48.3

Обследование свайных фундаментов при надстройке зданий

*К.т.н., доцент А.В. Улыбин;
инженер С.В. Зубков;
инженер С.Д. Федотов;
студент А.Ю. Закревский,*

Санкт-Петербургский государственный политехнический университет

Аннотация. В последнее время вопросу увеличения этажности существующих зданий уделяется все больше внимания. Решение о технической возможности выполнения данных работ должно приниматься на основании обследования конструкций. Конструкцией, которая, как правило, воспринимает большую часть дополнительных нагрузок, является фундамент.

Достоверное обследование скрытых под землей фундаментных конструкций и тем более свай является сложной технической задачей. В работе рассматривается комплексное обследование фундаментов надстраиваемого здания. Приводятся ошибки изысканий с анализом причин их появления и пути их устранения.

Описаны результаты определения несущей способности свай тремя различными методами: расчетным, по результатам полевых испытаний грунта и натурным испытанием свай. Показано существенное различие между данными, полученными разными методами. По результатам проведенного исследования сформулированы рекомендации по методологии и составу работ при комплексном обследовании свайных фундаментов для целей надстройки зданий.

Ключевые слова: обследование зданий; проходка шурфов; несущая способность свай; надстройка зданий

Введение

Задача по увеличению этажности существующих зданий вставала перед инженерами-строителями уже много лет назад [1]. Однако в последние десятилетия вопрос об увеличении площади зданий за счет их надстройки становится все более актуальным [2–5]. Желание инвесторов эффективнее использовать уже застроенный участок вполне оправданно. Тем более, что в ряде случаев увеличение нагрузки на существующие конструкции является допустимым и не требует больших затрат. При этом увеличение этажности производится как для зданий старой постройки, в том числе дореволюционной, так и для современных строений. Конструктивное решение надстраиваемых зданий также различно: от кирпичных несущих стен [6] и ленточных бутовых фундаментов [7] до стального каркаса и буронабивных свай. В любом случае возможность увеличения нагрузки, а также перечень мероприятий для выполнения этой задачи определяются результатами технического обследования существующих конструкций [8]. С введением в 2011 году ГОСТ Р 53778-2010 (с 2014 г. заменен на ГОСТ 31937-2011) разделом 5.2 был восполнен пробел СП 13-102-2003 в части нормирования работ по обследованию фундаментов [9].

В случае конструктивного решения фундаментов в виде ростверков, устроенных по сваям, решающим является определение несущей способности свай. Преимущественно в Санкт-Петербурге в свайных фундаментах применяются висячие сваи. Следовательно, основным из определяемых параметров является несущая способность свай по грунту. По решению данной задачи – поиску альтернативных и усовершенствованию известных методов определения несущей способности – в последние годы выполняется большое количество исследовательских работ. Часть из них посвящена расчетному методу определения [10–14] и моделированию [15, 16], другие работы основаны на использовании данных полевых испытаний грунта [17–19], но основным прямым методом является испытание свай статической вдавливающей нагрузкой [20–23]. Тем не менее, методика комплексного исследования свайных фундаментов, выполняемого при обследовании надстраиваемых зданий, не разработана.

Научной задачей исследования являлась разработка рекомендаций по методологии и составу работ при комплексном обследовании свайных фундаментов для целей надстройки зданий. Данная задача решена на примере обследования конкретного общественного здания.

1. Описание объекта исследования

1.1. Конструктивное решение и историческая справка

Объект исследования представляет собой общественное здание, расположенное в Петроградском районе Санкт-Петербурга. Рассматриваемое здание изначально построено как 4-зальный спортивный корпус по типовому проекту № 2С-097. Здание состоит из центральной трехэтажной части и примыкающих к ней симметричных двухэтажных крыльев (рис. 1). Основной целью работы являлось определение технической возможности надстройки обоих крыльев здания дополнительным этажом. Реконструкция подобных объектов в нашей стране выполняется довольно часто [24]. В то же время каждый из них с учетом различных параметров (геологических условий, фактической конструкции фундамента, дефектов и повреждений и пр.) является уникальным.

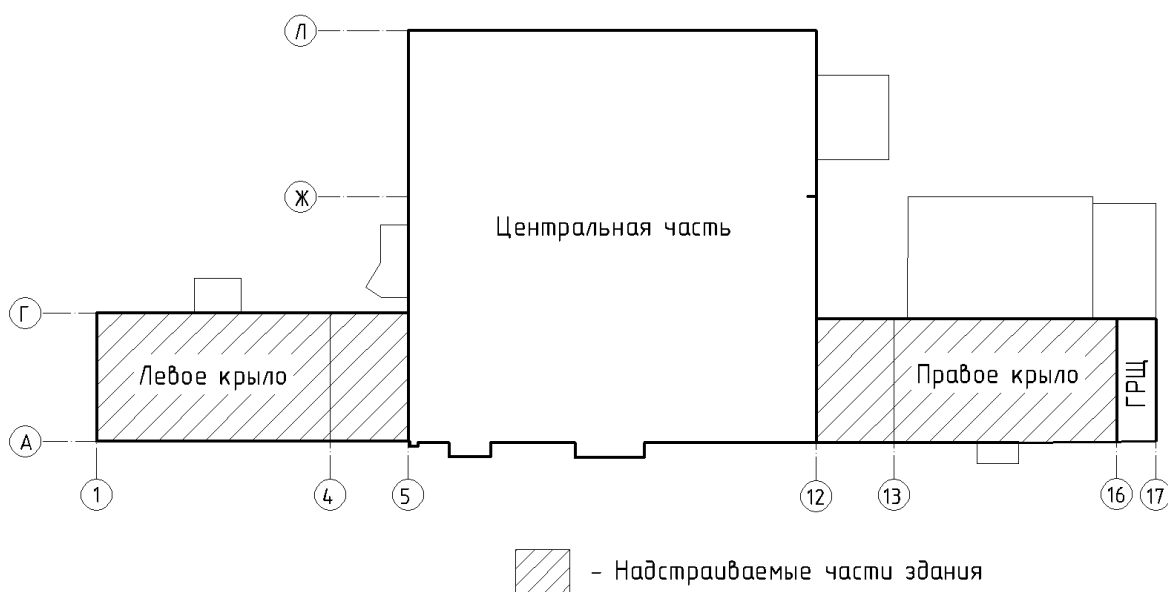


Рисунок 1. Схема обследуемого здания

Описываемые в ходе настоящей работы части здания располагаются в осях 1–5/А–Г и 12–17/А–Г. Для удобства описания надстраиваемых частей далее будут использоваться следующие обозначения:

- часть в осях 1–5/А–Г – **левое крыло**;
- часть в осях 12–16/А–Г – **правое крыло**.

Год постройки здания 1973. По изначальному проекту части крыльев в осях 1–4/А–Г и 13–16/А–Г построены одноэтажными высотой 6,0–6,5 м. Части крыльев, примыкающие к центральной части здания и расположенные в осях 5–6/А–Г и 12–13/А–Г, построены двухэтажными. Однако в ходе реконструкций в 1997 и 2001 гг. в обоих крыльях устроены междуэтажные перекрытия.

Основными надземными вертикальными несущими конструкциями обоих крыльев являются кирпичные стены по осям 1, 4, 13, 16 и кирпичные колонны, расположенные на пересечении осей А и Г с осями 2, 3, 13, 14. По осям 5 и 12 расположены общие для центральной трехэтажной части и крыльев несущие кирпичные стены. По оси 16 к правому крылу ориентировочно в 2002–2003 гг. пристроено одноэтажное кирпичное здание ГРЦ, расположенное в осях 16–17/А–Г.

Описанное выше конструктивное решение определено по результатам анализа имеющейся документации, сохранившейся с периода реконструкций, и натурального освидетельствования конструкций, выполненного авторами в 2010 г.

1.2. Инженерно-геологические условия площадки

Для анализа инженерно-геологических условий использовались архивные данные изысканий, выполненных на участке застройки в 1968 и 2002 гг., а также результаты проходки шурфов и данные динамического зондирования, произведенных в 2010 г. В ходе изысканий 2002 г. помимо бурения выполнялось испытание грунтов методом статического зондирования.

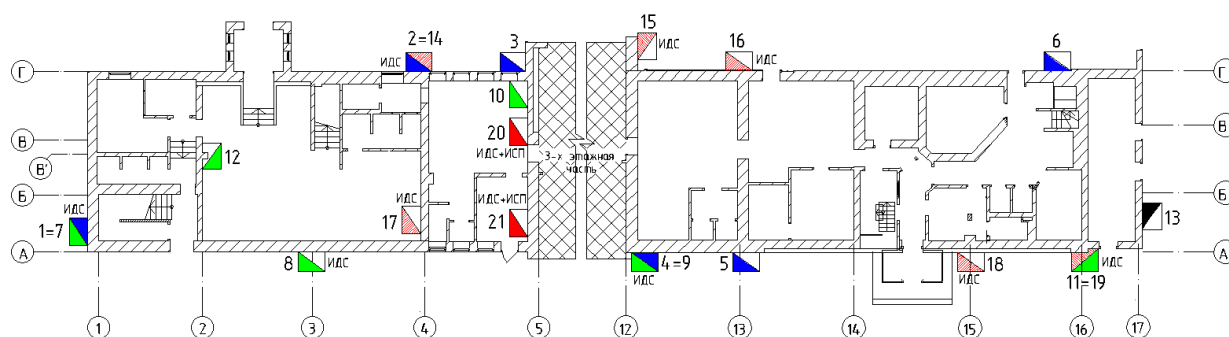
По результатам анализа вышеперечисленных данных выявлено, что геологические условия участка характеризуются как сложные с наличием большой толщи слабых грунтов невыдержанной мощности. В геологическом разрезе принимают участие следующие грунты.

Техногенные отложения, представленные насыпным грунтом, залегают с поверхности и имеют мощность 1,4–2,5 м. Слой состоит из супеси и песка вперемешку с битым кирпичом и прочим строительным мусором. Ниже расположены послеледниковые озерно-морские отложения, представленные супесями текучими и пластичными, песками различной крупности от пылеватых до крупных, залегающими до глубины 5,5–6,3 м. Подстилают озерно-морские отложения озерно-ледниковые грунты, представленные суглинками мягкопластичными и текучими, залегающими до глубины 13,0–16,5 м. Ниже расположены ледниковые отложения Лужской морены – супесь полутвердая, имеющая в кровле пластичность с гравием и галькой до 15 %. Мощность ледниковых отложений изысканиями не определялась.

2. Обследования фундаментов

2.1. Результаты проходки шурфов

Основная часть работы, посвященная обследованию фундаментов здания, была выполнена в 2010 г. При этом главной проблемой, как и на большинстве объектов, являлось отсутствие проектной документации. Для определения конструктивного решения и состояния фундаментов выполнялась проходка шурфов. Часть информации получена в результате анализа предыдущих отчетов по обследованию (рис. 2). При исследовании объекта в 2010 г. выполнено шесть шурфов, расположение которых также представлено на рисунке 2.



Условные обозначения:

	Шурф, пройденный в 2002 г. старонними организациями		Шурф, пройденный при обследовании 2014 г.
	Шурф, пройденный при обследовании 2010 г.		Шурф, пройденный при обследовании 2014 г. для испытания свай статической нагрузкой.
	Шурф, пройденный при доп. обследовании 2013 г.		

ИДС Участок измерения длины свай акустическим методом

ИСП Участок испытания свай статической нагрузкой

4=9 Порядковые номера шурфов (со знаком = при совпадении участков проходки в разные периоды обследования)

Рисунок 2. Схема расположения шурфов и участков инструментальных измерений

По результатам проходки установлено, что фундамент крыльев выполнен в виде отдельно стоящих свайных ростверков с опирающимися на них сборными железобетонными рандбалками. Ростверки имеют в плане форму прямоугольников с длинной стороной вдоль цифровых осей и плановыми габаритами 0,6 x 2,0–2,2 м. Ростверки объединяют пары забивных железобетонных свай сечением 0,35 x 0,35 м. Из-за большой длины ростверков и ограниченных размеров шурфов №1, 2 и 5 при обследовании 2002 г. фундаменты стен по осям 1, 4, 13 и 16 были ошибочно определены как ленточные. Впоследствии, при обследовании 2010 г. проходкой шурфа №7 и при обследовании 2014 г. проходкой шурфа №17 было установлено, что ростверки под стенами по осям 1 и 4 (и симметричным 13 и 16) такие же, как и по другим осям, т. е. отдельно стоящие (столбчатые). Однако в результате проходки шурфа №10 (рис. 2) под смежной стеной по оси 5 выявлено наличие ленточного монолитного железобетонного ростверка.

В результате проходки шурфа №11, расположенного на стыке правого крыла и здания ГРЦ, была установлена конструкция фундамента под стенами ГРЦ. При обследовании было зафиксировано, что фундамент выполнен в виде мелкозаглубленной узкой бетонной ленты толщиной всего 120 мм. Однако когда в 2013 г. встал вопрос о надстройке ГРЦ, в архиве были обнаружены проектные чертежи по данной части здания. Информация о фундаментах ГРЦ по проекту противоречила результатам обследования, и было принято решение о проходке дополнительного шурфа №13 у стены по оси 17. По результатам дополнительного обследования было установлено, что фундамент ГРЦ по осям 17, А и Г – ленточный из блоков ФБС с уширением подошвы в виде подушки. По оси 16 устроены рандбалки, идущие вдоль фундаментов правого крыла и опирающиеся по осям Б и В на отдельные фундаментные столбы. Именно эти рандбалки шириной 120 мм были ошибочно признаны ленточным фундаментом при обследовании 2010 г.

2.2. Определение длины свай

Для оценки возможности увеличения нагрузки на существующие фундаменты необходимо произвести расчет несущей способности свай. Количество и размеры сечения свай были установлены проходкой шурфов, данные о геологической изученности участка имелись. Неизвестной оставалась длина свай. В случае отсутствия проектной документации определение данного параметра является достаточно сложной технической задачей.

Определение длины свай обследуемых фундаментов осуществлялось акустическим (эхо) методом. При обследовании 2010 г. для этого привлекались специалисты ИЦ «Прочность» ФГБОУ ВПО «ПГУПС». С их помощью были выполнены исследования на трех сваях. Измерения выполнены в шурфах №7–9 (см. рис. 2). Впоследствии, в 2014 г., когда был полностью разработан проект реконструкции и определена дополнительная нагрузка, оказалось, что информация о точной длине свай имеет решающее значение. В связи с этим авторами были проведены дополнительные исследования длины. В данный период произведены измерения еще на восьми сваях, выполненные в шурфах №14–21.

Среди основных затруднений, с которыми приходится сталкиваться при использовании акустического метода на построенных зданиях, можно отметить недоступность оголовка свай. Это сопровождается не только отсутствием площадки для установки датчика, но и затруднениями при обработке сигнала [25–28]. В связи с этим все измерения производились с установкой датчика в штрабу, вырезаемую на боковой поверхности сваи (рис. 3).



Рисунок 3. Измерение длины сваи акустическим методом с установкой датчика в штрабу

Улыбин А.В., Зубков С.В., Федотов С.Д., Закревский А.Ю. Обследование свайных фундаментов при надстройке зданий

Другой задачей, которую необходимо было решить для выполнения измерения, являлось определение фактической скорости стержневой волны в свае [29]. В ходе исследований значение скорости определялось по скорости продольных ультразвуковых волн, измеренных в бетоне свай. Пересчет выполнен по зависимости

$$\frac{Vd}{Vp} = \sqrt{(\mu + 1) \frac{1 - 2\mu}{1 - \mu}},$$

где Vd – скорость стержневой волны в свае;
 Vp – скорость продольной ультразвуковой волны в бетоне;
 μ – коэффициент Пуассона.

По результатам измерений сделан вывод о том, что под зданием применены сваи разных типоразмеров по длине. Условно можно выделить два типа свай с глубиной заложения пяты в диапазонах 13...14 и 15...17 м.

Вариация отметок заложения вероятнее всего связана со срубанием оголовков свай в процессе забивки при достижении сваей расчетного отказа. Об этом свидетельствуют как фрагменты срубленных оголовков, обнаруженные при проходке шурфов (рис. 3), так и выпуски рабочей арматуры свай длиной более 1 м, проходящие сквозь ростверк.

2.3. Сбор нагрузок и расчет несущей способности свай

Для определения величины фактической нагрузки, приходящейся на сваи и действующей на период обследования 2010 г., был произведен расчет с учетом данных о конструктивном решении здания. Данным расчетом было определено, что нагрузка на сваи наиболее нагруженного ростверка, расположенного в осях 4/А, составляет 55 тс.

После разработки рабочего проекта надстройки здания была определена дополнительная нагрузка, приходящая на сваи после реконструкции. **Суммарное значение расчетной нагрузки составило 70 тс.**

Для определения допустимой нагрузки на сваю был выполнен расчет несущей способности свай по грунту. Расчет проведен по требованиям раздела 7.2 СП [30] на основании данных геологических изысканий и лабораторного анализа проб грунта, отобранных при бурении. Расчет показал, что для свай с глубиной заложения пяты 13 м несущая способность составляет 19,6 тс, а соответствующая ей допустимая нагрузка на сваю – 14,0 тс. Для свай с глубиной заложения пяты 17 м аналогичные значения составляют 65,7 тс и 46,9 тс. Такая большая разница (для свай разной длины) вызвана, прежде всего, погружением пяты более длинных свай в моренные грунты и, соответственно, расположением пяты коротких свай в слабых глинистых грунтах.

Таким образом, выявлено, что допустимая нагрузка на сваи, полученная расчетом, имеет значение существенно меньшее, чем величина не только расчетной нагрузки после надстройки, но и фактической нагрузки до реконструкции. В реальности это должно сопровождаться просадками фундаментов и соответствующими повреждениями надземных конструкций. Однако дефекты, свидетельствующие о неработоспособности фундамента, в конструкциях не выявлены.

Одной из основных причин данного несоответствия является то, что физико-механические характеристики слабых грунтов, в особенности текучей консистенции, полученные путем лабораторного анализа отобранных образцов, могут быть сильно занижены. Это происходит, прежде всего, за счет нарушения естественной структуры слабого грунта при бурении, извлечении и транспортировании образца. В связи с этим более достоверными являются данные расчета несущей способности свай, полученные по результатам статического зондирования грунтов [31]. Таким образом, принято решение об оценке несущей способности свай по результатам имеющихся данных полевых испытаний зондированием.

По отчету, выполненному ЗАО «Геостатика» в 2002 г., с учетом определенной длины свай и размеров их сечения величина допустимой нагрузки на сваи составляет:

- сваи с глубиной заложения пяты 13...14 м – **42,3...52,7 тс**;
- сваи с глубиной заложения пяты 15...17 м – **71,0...82,0 тс**.

2.4. Испытание свай

Полученные расчетным и косвенным путем данные о несущей способности оказались существенно отличающимися как друг от друга, так и в зависимости от предполагаемой длины свай. По указаниям п. 7.2.3 СП [30] в случае расположения под пятой глинистых грунтов с показателем текучести $I_L > 0,6$ необходимо определять несущую способность статическим испытанием. Для свай малой длины, выявленных на объекте, это условие имеет место. Кроме того, результаты испытаний свай считаются более достоверными, чем оценка несущей способности расчетом, статическим зондированием или другими методами (см. п. 7.1.6 СП [30]). На основе вышесказанного было принято решение о необходимости проведения испытаний.

Испытание свай, находящихся под фундаментом эксплуатируемого здания, является одной из наиболее сложных задач, выполняемых при обследовании. Это связано в первую очередь с необходимостью временного разрушения сечения сваи и, следовательно, выводом ее из работы. В данном случае вся приходящаяся на ростверк нагрузка должна быть воспринята оставшимися сваями и перераспределена ростверком без его разрушения. Вторым основным вопросом при испытании является вопрос о том, смогут ли надземная конструкция и ростверк воспринять вертикальную реакцию, действующую вверх и равную максимальной нагрузке, на которую испытывается свая. Все эти вопросы должны быть решены за счет выполнения предварительного расчета.

На описываемом объекте проведение испытаний еще более затруднено. Как было указано выше, основная часть фундаментов под надстраиваемыми крыльями выполнена в виде ростверков, объединяющих пару свай. При этом шаг свай (пролет ростверка) составляет около 1,8 м, а высота ростверков в среднем 0,4...0,5 м. Очевидно, что при таком конструктивном решении вывод из работы одной из свай не может быть произведен безболезненно для конструкций. Для реализации испытаний необходимо выполнение усиления фундаментов. Усиление может быть осуществлено, например, устройством дублирующих свай. Сваи усиления могут быть буронабивными и располагаться вне ростверка с дополнительной распределяющей конструкцией или устраиваться по технологии вдавливания под ростверком между существующими сваями [32]. В любом случае работа по усилению является технически сложной, а на данном объекте экономически не целесообразной.

Исходя из этих соображений принято решение об испытании фундаментов, расположенных на стыке крыльев с центральной частью и выполненных в виде ленточного ростверка. При этом вывод из работы сваи, расположенной между двумя другими в ростверке, при соответствующем расчетном обосновании является более безопасным мероприятием. В то же время сваи данных фундаментов имеют размеры сечения, идентичные с остальными сваями, и длину около 13,5 м, что соответствует длине свай наиболее нагруженного ростверка в осях 4/А. Кроме того, испытание свай короткого типоразмера позволит определить минимальное значение несущей способности по свайному полю в целом.

Для выполнения испытаний выбраны сваи, расположенные в местах проходки шурфов №20 и 21. Это обусловлено следующими факторами:

- удобство проходки шурфов необходимых размеров в указанных помещениях;
- сваи не являются соседними (между испытываемыми сваями расположены две сваи);
- вопрос об испытании свай ростверка по оси 12 не рассматривался в связи с эксплуатацией расположенных вдоль данной оси помещений первого этажа арендаторами.

Для оценки возможности выполнения работ по демонтажу свай и проведению нагружений произведен расчет ростверка. Расчет выполнен в виде конечно-элементной модели в ПК SCAD (рис. 4). Это позволило учесть в расчете условную жесткость кирпичной кладки трехэтажной стены, устроенной по ростверку, что в значительной степени сказалось на положительном результате расчета.

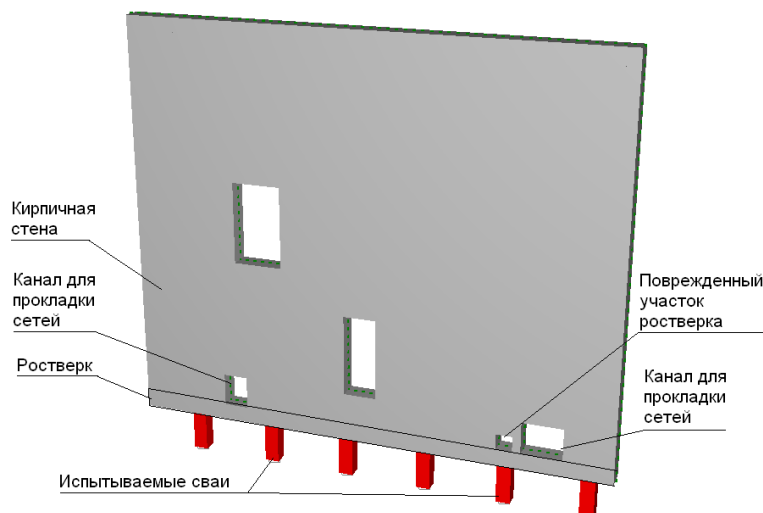


Рисунок 4. Модель стены по оси 5 с расположением свай под ростверком

Испытания свай выполнялись по программе, согласованной с заказчиком. Несущая способность определялась по одному из критериев, указанных в СП [30]:

- достижение свай предельной осадки, определяемой по формуле 7.19, которая в данном случае равна 24 мм;
- достижение испытательной нагрузкой значения, при котором не наступает стабилизация осадки свай.

Испытание свай осуществлялось с помощью гидравлического домкрата с максимальным усилием 150 тс и реперной системы. Испытательное оборудование, установленное в демонтированные участки свай, представлено на рисунках 5, 6. Предельной испытательной нагрузкой принята величина 90 тс, поэтому, согласно требованиям ГОСТ 5686-2012, испытание проводилось ступенями по 9 тс.



Рисунок 5. Испытательное оборудование на свае в шурфе №20



Рисунок 6. Испытательное оборудование на свае в шурфе №21

В процессе испытаний на всех стадиях нагружения наступала условная стабилизация осадок за исключением последней ступени, соответствующей нагрузке 90 т. При этом до нагрузки 72 т во время выдержки на каждой ступени увеличение осадки не происходило. На ступенях, соответствующих нагрузкам 72 т и 81 т, осадка увеличивалась после приложения нагрузки с последующим затуханием и стабилизацией. На ступени, соответствующей нагрузке 90 т, осадка непрерывно росла.

Окончательная осадка свай в осях В–Г, достигнутая при испытании, составила 9 мм. После разгрузки остаточная деформация составила 5,6 мм. Осадка свай в осях А–Б при нагрузке 90 т составила 13 мм и непрерывно увеличивалась. После этого нагрузка была доведена до 100 т, при этом осадка увеличилась до 21,8 мм менее чем за одну минуту. Таким образом, были достигнуты оба критерия исчерпания несущей способности. После разгрузки остаточная деформация

Улыбин А.В., Зубков С.В., Федотов С.Д., Закревский А.Ю. Обследование свайных фундаментов при надстройке зданий

составила 18 мм. На рисунке 7 в качестве примера представлен график испытания сваи в осях А–Б.

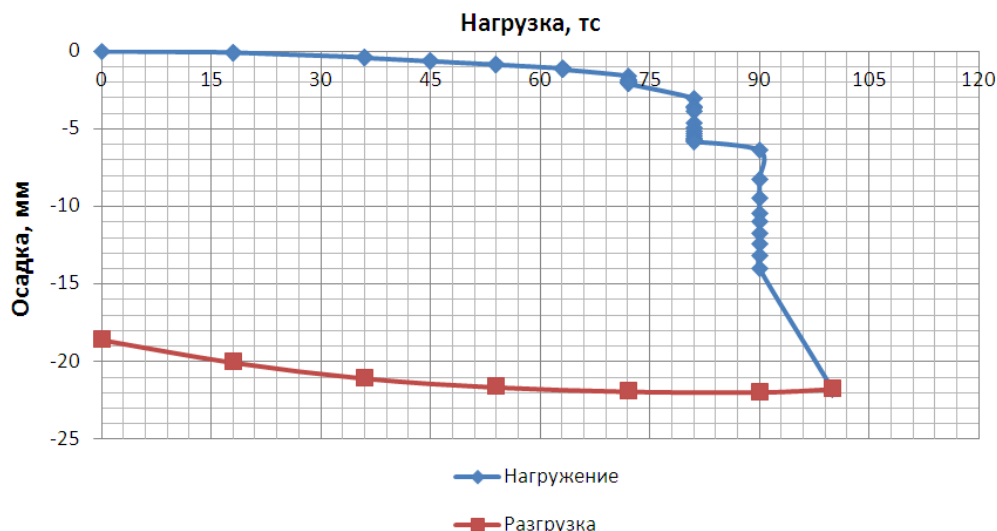


Рисунок 7. График испытания сваи в осях А–Б

После выполнения испытаний демонтированный участок свай был восстановлен. Испытание двух свай проводилось последовательно с перерывом для набора прочности бетона на участке восстановления первой испытанной сваи.

По результатам испытаний несущая способность обеих испытанных свай F_d принята равной 90 тс. При этом максимальная допустимая расчетная нагрузка N на сваи согласно указаниям п. 7.1.11 СП [30] не должна превышать 75 тс. Учитывая, что расчетное значение нагрузки на наиболее нагруженную сваю составляет 70 тс, а стабилизировавшаяся осадка свай при данной нагрузке составила менее 3 мм, можно сделать вывод о возможности надстройки здания без усиления фундаментов.

2.5. Сравнение несущей способности, полученной разными методами

По результатам выполненных исследований проведено сравнение несущей способности свай, полученной при ее определении тремя различными методами: расчетным, на основании испытаний грунта статическим зондированием и испытания сваи статической нагрузкой. Результаты сравнения представлены в таблице.

Таблица. Сравнение данных по несущей способности свай

Метод определения несущей способности	Свая с глубиной пяты 13,0 м*		Свая с глубиной пяты 17,0 м*	
	Несущая способность F_d , тс	Максимально допустимая нагрузка N , тс**	Несущая способность F_d , тс	Максимально допустимая нагрузка N , тс**
Расчет по формулам СП [30]	19,6	14,0	65,7	46,9
Расчет по результатам статического зондирования	52,8	42,2	102,5	82,0
Статическое испытание	90,0	75,0	-	-

* Для сравнения приняты сваи наименьшей и наибольшей длин, выявленных по результатам измерений.

**Определено с учетом требований п. 7.1.11 СП [30].

По данным, представленным в таблице, видно значительное отличие результатов, полученных различными методами. На практике такое несоответствие может привести к существенной ошибке при принятии решения о перечне мероприятий, сопровождающих реконструкцию, невыполнению необходимого усиления вообще или, наоборот, дополнительных неоправданных затратах на усиление конструкций, в котором нет необходимости. Данная ситуация, к сожалению, встречается на практике довольно часто [33–38]. Поэтому для снижения вероятности возможных ошибок в качестве базового метода необходимо применять испытание свай под фундаментами. При этом обязательным является проведение комплексного исследования фундаментов в шурфах с контрольными измерениями длины, габаритов сечения и шага расположения свай по всему свайному полю.

Улыбин А.В., Зубков С.В., Федотов С.Д., Закревский А.Ю. Обследование свайных фундаментов при надстройке зданий

Заклучение

В результате комплексного обследования фундаментов исследованного объекта выявлено следующее.

1. Фундаменты здания выполнены в виде ленточных и столбчатых ростверков, объединяющих забивные железобетонные сваи сечением 0,35 x 0,35 м.

2. Определенная акустическим методом длина 11 свай имеет различные значения, что связано как с применением свай разных типоразмеров, так и с корректировкой длины свай (обрезкой) после их забивки до проектного отказа.

3. Несущая способность свай, а также соответствующее ей значение максимальной нагрузки на сваи, полученные разными методами для свай одинаковой длины, различаются в 5 раз.

4. Учитывая фактическое состояние объекта и отсутствие дефектов, связанных с фундаментами, принято, что наиболее достоверные данные по несущей способности получены путем статического испытания свай. Эти значения приняты за исходные при оценке возможности увеличения нагрузки на фундаменты при надстройке здания.

На основании анализа результатов проведенного исследования с учетом выполненного обзора публикаций сформулированы рекомендации по методологии и составу работ при комплексном обследовании свайных фундаментов для целей надстройки зданий.

1. При отсутствии проектной документации выполнить качественное и достоверное обследование надземных конструкций не просто, а заглубленных конструкций, в том числе фундаментов, очень сложно. Поэтому одной из первых задач при обследовании должна решаться задача по поиску и анализу проектной документации. Анализ проекта позволит значительно снизить вероятность ошибочных результатов обследования.

2. Необходимо обоснованно назначать количество и места расположения шурфов, выполняемых при обследовании. Даже соблюдение требований ГОСТ 31937-2011 по минимальному количеству выполняемых шурфов в ряде случаев не даст исчерпывающей информации. Сплошное же обследование заглубленных конструкций, при котором обследуется каждый фундамент, как правило, невыполнимо по техническим или экономическим соображениям. На примере данного объекта показано, что для получения полного представления о конструкции фундаментов небольшого по площади здания потребовалась проходка 21 шурфа, выполненная различными организациями за период в 12 лет.

3. Для определения при обследовании зданий несущей способности висячих свай необходимо в обязательном порядке выполнять статическое зондирование грунта. В случае предполагаемого увеличения нагрузки на фундаменты на величину более 10 % от действующей необходимо выполнять статическое испытание свай. При всей технической сложности и относительной дороговизне этих работ только их результат позволит принять взвешенное решение о возможности проведения работ по реконструкции.

4. Перед выполнением испытаний необходимо путем проходки шурфов определить количество типоразмеров свай (вид, габариты сечения, длина), устроенных под зданием. Рекомендуемый объем контроля от общего количества свай должен быть не менее:

- 5% при наличии проектной документации;
- 10% при выявлении в ходе работ одного типоразмера свай;
- 20% при выявлении в ходе работ нескольких типоразмеров свай.

5. Число подвергаемых испытанию свай одного типоразмера должно быть не менее двух. При наличии расхождений между результатами этих измерений количество испытываемых свай необходимо увеличить до получения выборки данных, по которой можно достоверно судить о диапазоне изменения несущей способности или наличии аномалий.

6. До проведения испытаний обязательным является расчет конструкций на возможность временной работы без сваи и восприятия испытательной нагрузки. При необходимости конструкции должны быть предварительно усилены по отдельно разработанному проектному решению.

Литература

1. Нащокина М.В. Михаил Бугровский – архитектор купеческой Москвы // Архитектурное наследство. 2012. №56. С. 235–260.
2. Ларина Н.А. Социально-экономическая оценка программы надстройки мансардных этажей в Санкт-Петербурге // Проблемы современной экономики. 2013. №4(48). С. 319321.
3. Дмитриев Б.В., Урунич В.М. О новых технологиях надстройки жилых домов без отселения жителей // Промышленное и гражданское строительство. 2004. №12. С. 26–28.
4. Овсянников С.Н., Овсянников А.Н. Перспективы реконструкции жилых домов первых массовых серий в г. Томске // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2010. № 2. С. 105–112.
5. Кравченко В.В., Чувилова И.В. Применение комплексных методов реконструкции и модернизации пятиэтажной жилой застройки, возведенной в период 50–70-х годов в городе Москва // Известия Юго-Западного государственного университета. 2011. №5-2. С. 185–188.
6. Грановский А.В., Костенко А.Н., Мочалов А.Л. Повышение прочности кирпичных конструкций реконструируемых зданий // Жилищное строительство. 2006. №2. С. 22.
7. Калашников С.Ю., Олейников П.П., Олейникова Е.П. Решение социокультурных проблем в довоенном Сталинграде при реконструкции Царицынских построек // Архитектура и строительство России. 2014. №2. С. 34–39.
8. Позмогова С.Б., Логачёва Е.А. Реновации в строительстве и экономический эффект // Вестник Ульяновского государственного технического университета. 2011. №3 (55). С. 57–60.
9. Ватин Н.И., Улыбин А.В., Огородник В.М. ГОСТ Р 53778-2010: обследование инженерных сетей и другие особенности нового нормативного документа // Инженерно-строительный журнал. 2011. №1(19). С. 5–7.
10. Dai G.-L., Yu Q.-Y., Gong W.-M. Study of effective pile length based on Winkler models // Rock and Soil Mechanics. 2012. No. 33 (SUPPL. 2). Pp. 162–166.
11. Булатов Г.Я., Ножнов А.П. Численное моделирование влияния грунтового ядра на несущую способность трубосваи // Инженерно-строительный журнал. 2010. №2(12). С. 27–35.
12. Вертынский О.С. Определение несущей способности набивных конических свай // Вестник Саратовского государственного технического университета. 2006. №1. С. 78–82.
13. Булатов Г.Я., Колосова Н.Б., Теплов А.Б. Несущая способность забивной сваи различных форм поперечного сечения // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. №1(6). С. 22–27.
14. Полищук А.И., Самарин Д.Г., Филиппович А.А. Оценка несущей способности свай в глинистых грунтах с помощью ПК PLAXIS 3D Foundation // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. 2013. №3. С. 351–359.
15. Du J.-Q., Du S.-J., Zhao D.-L., Tang W.-Y. Numerical analysis of interaction of pile group-soil-raft under vertical load // Rock and Soil Mechanics. 2013. No. 8(34). Pp. 2414–2420.
16. Manandhar S., Yasufuku N. Vertical bearing capacity of tapered piles in sands using cavity expansion theory // Soils and Foundations. 2013. No. 6(53). Pp. 853–867.
17. Чичкин А.Ф. Динамическое зондирование и несущая способность свай // Интернет-Вестник ВолгГАСУ. Серия: Политематическая. 2013. №3(28). С. 1–3.
18. Shooshpashaa I., Mola-Abasia H., Amirib I. Evaluation of static and dynamic methods for determining the bearing capacity of the driven pipe piles // International Journal of Engineering. 2014. No. 2(27). Pp. 307–314.
19. Шеменков Ю.М., Глазачев А.О. Расчет буронабивных свай в глинистых грунтах по данным статического зондирования // Известия Казанского государственного архитектурно-строительного университета. 2012. №3. С. 80–85.
20. Eslami A. Tajvidi I. Karimpour-Fard M. Efficiency of methods for determining pile axial capacity-applied to 70 cases histories in Persian Gulf northern shore // International Journal of Civil Engineering. 2014. No. 12(1 B). Pp. 45–54.
21. Гурьянов И.Е. Несущая способность свайных фундаментов в вечномёрзлых грунтах и общий метод ее натурального определения // Наука и образование. 2006. №1. С. 87–90.
22. Jiang Z.-Z. Test of foundation pile selection in New Weinan Railway Station of Zhengzhou-Xi'an Railway Passenger Dedicated Line // Journal of Railway Engineering Society. 2014. No. 31(1). Pp. 53–58.

Улыбин А.В., Зубков С.В., Федотов С.Д., Закревский А.Ю. Обследование свайных фундаментов при надстройке зданий

23. Zhao C.-F., Wang W.-Z., Zhao C., Qiu Z.-X. Field test study on bearing capacity of single pile under combined loads // China Journal of Highway and Transport. 2013. No. 26(6). Pp. 59–64.
24. Евсеева А.В. Проблемы спортивных объектов, построенных по типовым проектам // Сборник научных трудов Sword. 2013. Т. 49. №3. С. 93–96.
25. Zhang J.-Y., Chen L.-Z. Sonic echo test for pile integrity testing based on wavelet transform // Journal of Vibration and Shock. 2014. Vol. 33. Issue 6. Pp. 179–183.
26. Капустин В.В. Применение волновых методов для определения длины свай // Технологии сейсморазведки. 2009. №2. С. 113–117.
27. Капустин В.В. К вопросу о физических основах акустического метода испытания свай // Инженерные изыскания. 2011. № 11. С. 10–15.
28. Улыбин А.В., Коренев В.В. Метод контроля длины стальных свай-оболочек // Строительство уникальных зданий и сооружений. 2013. №1(6). С. 28–35.
29. Hu X., Liu J. Study of inaccuracy of P-wave velocity in piles by low strain integrity testing // Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering. 2013. No. 32 (SUPPL.2). Pp. 4183–4189.
30. СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты. Актуализированная редакция СНиП 2.02.03-85
31. Ершов А.В. Методы определения несущей способности свай по данным статического зондирования // Вестник гражданских инженеров. 2010. №2. С. 77–85.
32. Нестеров А.С., Тишков Е.В., Мельник О.И. Усиление фундаментов стен памятников архитектуры с применением метода вдавливания // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2012. №25. С. 57–62.
33. Димов Л.А., Димов И.Л. Несущая способность свай в глинистых грунтах по результатам расчетов и полевых испытаний // Основания, фундаменты и механика грунтов. 2006. №3. С. 26–30.
34. Ершов А.В. Перспективы развития методов расчета несущей способности свай по данным статического зондирования // Геотехника. 2011. №1. С. 60–75.
35. Уткин В.С., Шепелина Е.А. Расчет надежности оснований фундаментов по критерию прочности при ограниченной информации о нагрузке // Инженерно-строительный журнал. 2013. №1(36). С. 48–56.
36. Конюшков В.В., Улицкий В.М. Оценка несущей способности буроинъекционных свай // Вестник гражданских инженеров. 2007. №2. С. 52–57.
37. Чернышов П.О. Сравнительный анализ применяемых методик оценки несущей способности буроинъекционных свай // Вестник гражданских инженеров. 2013. №1(36). С. 77–82.
38. Shirato M., Kohno T., Nakatani S. Model errors in bearing capacity of vertically loaded foundations // Geotechnical Special Publication. 2013. No.229. Pp. 505–519.

*Алексей Владимирович Улыбин, Санкт-Петербург, Россия
Тел. моб.: +7(921)777-45-16; эл. почта: ulybin@mail.ru*

*Сергей Владимирович Зубков, Санкт-Петербург, Россия
Тел. моб.: +7(921)3877034; эл. почта: svzubkov@mail.ru*

*Сергей Дмитриевич Федотов, Санкт-Петербург, Россия
Тел. моб.: +7(911)9167802; эл. почта: fed87@mail.ru*

*Александр Юрьевич Закревский, Санкт-Петербург, Россия
Тел. моб.: +7(965)7625049; эл. почта: slice39@mail.ru*

© Улыбин А. В., Зубков С. В., Федотов С. Д., Закревский А. Ю., 2014

doi: 10.5862/MCE.48.3

Inspection of pile foundation before constructing additional storeys on existing buildings

A.V. Ulybin

Saint-Petersburg State Polytechnical University, Saint-Petersburg, Russia
+79217774516; e-mail: ulybin@mail.ru

S.V. Zubkov

Saint-Petersburg State Polytechnical University, Saint-Petersburg, Russia
+79213877034; e-mail: svzubkov@mail.ru

S.D. Fedotov

Saint-Petersburg State Polytechnical University, Saint-Petersburg, Russia
+79119167802; e-mail: fed87@mail.ru

A.Yu. Zakrevsky

Saint-Petersburg State Polytechnical University, Saint-Petersburg, Russia
+79657625049; e-mail: slice39@mail.ru

Key words

inspection of buildings; excavation of test pits; bearing capacity of piles; construction of additional storeys

Abstract

The problem of constructing additional storeys on existing buildings is really up-to-date nowadays. Implementation of the above-mentioned process should be undertaken after the inspection of constructions.

Foundation is the construction which takes additional loads. The inspection of constructions, which are located underground, i.e. piles, is a very complicated technical problem. This article considers the full inspection of the pile foundation, analysis of mistakes in the geological survey and ways of their elimination.

The results of determining a bearing capacity of piles were described using three different methods: calculation, static penetration test, in-situ load tests were compared. The paper shows the essential difference between the results obtained by using different methods. The analysis of the survey's results contributes to drawing up recommendations on the methodology of the pile foundation complex inspection.

References

1. Nashchokina M.V. Mikhail Bugrovskiy – arkhitekto kupecheskoy Moskvy [Michael Bugrovsky - architect of merchant Moscow]. *Architectural heritage*. 2012. No.56. Pp. 235–260. (rus)
2. Larina N.A. Sotsialno-ekonomicheskaya otsenka programmy nadstroyki mansardnykh etazhey v Sankt-Peterburge [Socio-economic evaluation of the superstructure attics in St. Petersburg]. *Problems of modern economics*. 2013. No.4(48). Pp. 319–321. (rus)
3. Dmitriyev B.V., Urunch V.M. O novykh tekhnologiyakh nadstroyki zhilykh domov bez otseleniya zhiteley [On the new technology add-dwellings without resettling residents]. *Industrial and civil engineering*. 2004. No.12. Pp. 26–28. (rus)
4. Ovsyannikov S.N., Ovsyannikov A.N. Perspektivy rekonstruktsii zhilykh domov pervykh massovykh seriy v g. Tomske [Prospects for reconstruction of residential houses built by the first mass projects in Tomsk]. *Vestnik of TSUAB*. 2010. No. 2. Pp. 105–112. (rus)
5. Kravchenko V.V., Chuvilova I.V. Primeneniye kompleksnykh metodov rekonstruktsii i modernizatsii pyatietazhnoy zhiloy zastroyki, vozvedennoy v period 50–70-kh godov v gorode Moskva [Application of integrated methods of reconstruction and modernization of the five-story residential building, built during the 50–70s in Moscow]. *Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta*. 2011. No.5–2. Pp. 185–188. (rus)
6. Granovskiy A.V., Kostenko A.N., Mochalov A.L. Povysheniye prochnosti kirpichnykh konstruktivnykh zdaniy [Improving the strength of masonry structures reconstructed buildings]. *Housing Construction*. 2006. No.2. P. 22. (rus)
7. Kalashnikov S.Yu., Oleynikov P.P., Oleynikova Ye.P. Resheniye sotsiokulturnykh problem v dovoyennom Stalingrade pri rekonstruktsii Tsaritsynskikh postroyek [Decision sociocultural problems in pre-war Stalingrad at reconstruction of Tsaritsynskikh buildings].

Ulybin A.V., Zubkov S.V., Fedotov S.D., Zakrevsky A.Yu. Inspection of pile foundation before constructing additional storeys on existing buildings

- Stalingrad during reconstruction Tsaritsynsky buildings]. *Arkhitektura i stroitelstvo Rossii*. 2014. No.2. Pp. 34–39. (rus)
8. Pozmogova S.B., Logacheva Ye.A. Renovatsii v stroitelstve i ekonomicheskiy effekt [Renovation of construction and the economic effect]. *Vestnik Ulyanovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2011. No.3(55). Pp. 57–60. (rus)
 9. Vatin N.I., Ulybin A.V., Ogorodnik V.M. GOST R 53778-2010: obsledovaniye inzhenernykh setey i drugiye osobennosti novogo normativnogo dokumenta [GOST R 53778-2010: the engineering services survey and other peculiarities of new normative document]. *Magazine of Civil Engineering*. 2011. No.1(19). Pp. 5–7. (rus)
 10. Dai G.-L., Yu Q.-Y., Gong W.-M. Study of effective pile length based on Winkler models. *Rock and Soil Mechanics*. 2012. No.33 (SUPPL. 2). Pp. 162–166.
 11. Bulatov G.Ya., Nozhnov A.P. Chislennoye modelirovaniye vliyaniya gruntovogo yadra na nesushchuyu sposobnost trubosvai [Numerical simulation of the influence of soil core on the bearing capacity of pipe pile]. *Magazine of civil engineering*. 2010. No. 2(12). Pp. 27–35. (rus)
 12. Vertynskiy O.S. Opredeleniye nesushchey sposobnosti nabivnykh konicheskikh svay [Determination of the bearing capacity of conical piles]. *Vestnik Saratovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*. 2006. No.1. Pp. 78–82. (rus)
 13. Bulatov G.Ya., Kolosova N.B., Teplov A.B. Nesushchaya sposobnost zabivnoy svai razlichnykh form poperechnogo secheniya [Bearing capability of driven piles with different types of cross-section]. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2013. No.1(6). Pp. 22–27. (rus)
 14. Polishchuk A.I., Samarin D.G., Filippovich A.A. Otsenka nesushchey sposobnosti svay v glinistykh gruntakh s pomoshchyu PK PLAXIS 3D Foundation [Evaluation of bearing capacity of piles in clay soils with a PLAXIS 3D Foundation]. *Vestnik of TSUAB*. 2013. No.3. Pp. 351–359. (rus)
 15. Du J.-Q., Du S.-J., Zhao D.-L., Tang W.-Y. Numerical analysis of interaction of pile group-soil-raft under vertical load. *Rock and Soil Mechanics*. 2013. No. 8(34). Pp. 2414–2420.
 16. Manandhar S., Yasufuku N. Vertical bearing capacity of tapered piles in sands using cavity expansion theory. *Soils and Foundations*. 2013. No.6(53). Pp. 853–867.
 17. Chichkin A.F. Dinamicheskoye zondirovaniye i nesushchaya sposobnost svay [Dynamic penetration testing and bearing capacity of piles]. *Internet-Vestnik VolgGASU*. 2013. No.3(28). P. 16. (rus)
 18. Shooshpashaa I., Mola-Abasia H., Amirib I. Evaluation of static and dynamic methods for determining the bearing capacity of the driven pipe piles. *International Journal of Engineering*. 2014. No. 2(27). Pp. 307–314.
 19. Shemenkov Yu.M., Glazachev A.O. Raschet buronabivnykh svay v glinistykh gruntakh po dannym staticheskogo zondirovaniya [Calculation of bored piles in clay soils according to a static penetration testing]. *News of the KSUAE*. 2012. No.3. Pp. 80–85. (rus)
 20. Eslami A., Tajvidi I. Karimpour-Fard M. Efficiency of methods for determining pile axial capacity-applied to 70 cases histories in Persian Gulf northern shore. *International Journal of Civil Engineering*. 2014. No. 12(1 B). Pp. 45–54.
 21. Guryanov I.Ye. Nesushchaya sposobnost svaynykh fundamentov v vechnomerzlykh gruntakh i obshchiy metod yeye naturnogo opredeleniya [Bearing capacity of pile foundations in permafrost and the general method of its in-situ determination]. *Science and education*. 2006. No. 1. Pp. 87–90. (rus)
 22. Jiang Z.-Z. Test of foundation pile selection in New Weinan Railway Station of Zhengzhou-Xi'an Railway Passenger Dedicated Line. *Journal of Railway Engineering Society*. 2014. No. 31(1). Pp. 53–58.
 23. Zhao C.-F., Wang W.-Z., Zhao C., Qiu Z.-X. Field test study on bearing capacity of single pile under combined loads. *China Journal of Highway and Transport*. 2013. No.26(6). Pp. 59–64.
 24. Yevseyeva A.V. Problemy sportivnykh obyektov, postroyennykh po tipovym proyektam [Problems of sports facilities built on the model projects]. *Sbornik nauchnykh trudov Sworld* [Collection of scientific papers Sworld]. 2013. Vol. 49. No. 3. Pp. 93–96. (rus)
 25. Zhang J.-Y., Chen L.-Z. Sonic echo test for pile integrity testing based on wavelet transform. *Journal of Vibration and Shock*. 2014. No.33(6). Pp. 179–183.
 26. Kapustin V.V. Primeneniye volnovykh metodov dlya opredeleniya dliny svay [Application wave methods to determine the length of piles]. *Seismic survey technologies*. 2009. No.2. Pp. 113–117. (rus)
 27. Kapustin V.V. K voprosu o fizicheskikh osnovakh akusticheskogo metoda ispytaniya svay [On the physical basis of the acoustic test method piles]. *Engineering Surveys*. 2011. No.11. Pp. 10–15. (rus)

28. Ulybin A.V., Korenev V.V. Metod kontrolya dliny stalnykh svay-obolochek [The method of length measurement for hollow steel piles]. *Construction of Unique Buildings and Structures*. 2013. No.1(6). Pp. 28–35. (rus)
29. Hu X., Liu J. Study of inaccuracy of P-wave velocity in piles by low strain integrity testing. *Chinese Journal of Rock Mechanics and Engineering*. 2013. No. 32 (SUPPL.2). Pp. 4183–4189.
30. CP 24.13330.2011. *Svaynyye fundamenty. Aktualizirovannaya redaktsiya SNiP 2.02.03-85* [Set of rules 24.13330.2011. Pile foundation. Updated edition of Building code 2.02.03-85].
31. Yershov A.V. Metody opredeleniya nesushchey sposobnosti svay po dannym statcheskogo zondirovaniya [Methods for determination of bearing capacity of piles according to SPT]. *Bulletin of Civil Engineers*. 2010. No.2. Pp. 77–85. (rus)
32. Nesterov A.S., Tishkov Ye.V., Melnik O.I. Usileniye fundamentov sten pamyatnikov arkhitektury s primeneniym metoda vdavlivaniya [Strengthening the foundations of the walls of monuments using the method of indentation]. *SibADI Journal*. 2012. No.25. Pp. 57–62. (rus)
33. Dimov L.A., Dimov I.L. Nesushchaya sposobnost svay v glinistyykh gruntakh po rezul'tatam raschetov i polevykh ispytaniy [Bearing capacity of piles in clay soils, and the calculation results of field tests]. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 2006. No.3. Pp. 26–30. (rus)
34. Yershov A.V. Perspektivy razvitiya metodov rascheta nesushchey sposobnosti svay po dannym statcheskogo zondirovaniya [Prospects of development of methods of calculation of the bearing capacity of piles according to SPT]. *Geotechnical Engineering*. 2011. No.1. Pp. 60–75. (rus)
35. Utkin V.S., Shepelina Ye.A. Raschet nadezhnosti osnovaniy fundamentov po kriteriyu prochnosti pri ogranichennoy informatsii o nagruzke [Calculation of reliability of foundation beds according to the strength criterion with limited information about the load]. *Magazine of Civil Engineering*. 2013. No.1(36). Pp. 48–56. (rus)
36. Konyushkov V.V., Ulitskiy V.M. Otsenka nesushchey sposobnosti buroinyektsionnykh svay [Evaluation of bearing capacity of drill-injection piles]. *Bulletin of Civil Engineers*. 2007. No.2. Pp. 52–57. (rus)
37. Chernyshov P.O. Sravnitelnyy analiz primenyayemykh metodik otsenki nesushchey sposobnosti buroinyektsionnykh svay [Comparative analysis of the techniques rated bearing capacity of drill-injection piles]. *Bulletin of Civil Engineers*. 2013. No.1 (36). Pp. 77–82. (rus)
38. Shirato M., Kohno T., Nakatani S. Model errors in bearing capacity of vertically loaded foundations. *Geotechnical Special Publication*. 2013. No.229. Pp. 505–519.

Full text of this article in Russian: pp. 17–27