

ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

Оценка усилия вдавливания железобетонных свай заводского изготовления в глинистые грунты

УДК 624.154.4

Полищук Анатолий Иванович

Д-р техн. наук, профессор, заведующий кафедрой «Основания и фундаменты» ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина» (г. Краснодар); e-mail: ofpai@mail.ru

Нуйкин Сергей Сергеевич

Аспирант кафедры «Основания и фундаменты» ФГБОУ ВО «Кубанский государственный аграрный университет имени И.Т. Трубилина» (г. Краснодар); e-mail: nuismith@yandex.ru

Статья получена: 21.10.2018. Рассмотрена: 25.10.2018. Одобрена: 31.10.2018. Опубликовано онлайн: 26.12.2018. ©РИОР

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы оценки усилий вдавливания железобетонных свай заводского изготовления в глинистые грунты, которые погружались сваевдавливающей установкой в городских условиях. Сваевдавливающая установка (СВУ) разработана в 2003 г. (авторы С.В. Ющубе, А.И. Полищук, Ю.Б. Андриенко, С.С. Нуйкин) и предназначена для устройства цельных и составных свай различного поперечного сечения (квадратных, круглых, призматических, кольцевых и др.) длиной от 5 до 16 м. В период эксплуатации установки были подготовлены ее различные модификации (СВУ-1, СВУ-2, СВУ-3) с помощью которых погружено более 40000 свай заводского изготовления в Томске, Кемерово, Омске и других городах России.

В 2011–2012 гг. специалистами ООО «ФундаментСпецСтрой» (г. Томск) совместно со специалистами Кубанского государственного аграрного университета (г. Краснодар) был разработан прибор «Измеритель И-1», который позволяет получать данные по усилиям вдавливания свай на заданных отметках. В статье описывается устройство прибора и принцип его действия. Работа прибора основана на преобразовании показателей давления гидравлической системы сваевдавливающей установки во время вдавливания свай в электрический сигнал, преобразуемый в цифровые значения. Приведены основные результаты усилий вдавливания свай и построены графические зависимости. Выполнены анализ, обобщение результатов эксперименталь-

EVALUATION OF EFFORT INDENTATION OF PREFABRICATED REINFORCED CONCRETE PILES IN CLAY SOILS

Polyschyk Anatoliy

Doctor of Engineering, Professor, Head of Department of Foundations, Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar; e-mail: ofpai@mail.ru

Nuykin Sergey

Postgraduate Student, Department of the Foundations, Kuban State Agrarian University named after I.T. Trubilin, Krasnodar; e-mail: nuismith@yandex.ru

Manuscript received: 21.10.2018. **Revised:** 25.10.2018. **Accepted:** 31.10.2018. **Published online:** 26.12.2018. ©РИОР

Abstract. The article discusses the pile indentation equipment for dive prefabricated reinforced concrete piles which are used in clay soils in urban environments. It was developed in 2003 and intended for dive reinforced concrete piles of different cross-sectional (square, round, prismatic, ring, etc.) length from 5 to 12 meters. Different modifications (SVU-1, SVU-2 and SVU-3)

have been prepared during the period of equipment's exploitation. They have dived more than 35,000 prefabricated concrete piles in Tomsk, Novosibirsk, Omsk, Kemerovo and other cities of Russia. In 2011 specialists of "FundamentSpetsStroy" (Tomsk) and specialists from the Kuban State Agrarian University (Krasnodar) developed a special device-meter, which provides to get information on efforts of the indentation piles at predetermined elevations. The article describes a structure of device and its operating principle. The principle of device based on the conversion parameters of pressure hydraulic system of pile indentation equipment during the pile diving into an electrical signal that is converted to digital information. The article presents the main results of effort indentation of piles, also tables of received values and graphics. The article performed an analysis and the generalization results of experimental research.

Keywords: prefabricated concrete piles, pile indentation equipment, finding of effort indentation, load-bearing capacity of piles.

ных исследований и показаны направления дальнейших исследований.

Ключевые слова: усилие вдавливания, железобетонные сваи, глинистые грунты, вдавливание свай, сравнение результатов.

В качестве оборудования для проведения экспериментальных исследований усилия вдавливания $N_{вд}$ железобетонных свай заводского изготовления использовалась сваевдавляющая установка (СВУ), которая предназначена для погружения свай на строительных площадках городской застройки. Установка была разработана в 2003 г в г. Томске специалистами С.В. Ющубе, А.И. Полищуком, А.Б. Андриенко, С.С. Нуйкиным; ее конструкция запатентована в России [1]. Она позволяет погружать цельные железобетонные сваи заводского изготовления различного поперечного сечения (квадратные, круглые, призматические, кольцевые и др.) [2] в глинистые грунты (цельные длиной до 12 м; составные — до 16 м). В период эксплуатации установки (с 2003 г.) были подготовлены различные ее модификации (СВУ-1, СВУ-2, СВУ-3) с помощью которых устроено более 40 000 свай заводского изготовления в грунтовых условиях Томска, Кемерово, Омска и других городах России (рис. 1) [3; 4].



Рис. 1. Общий вид сваевдавляющей установки (СВУ) на строительной площадке в г. Томске по ул. А. Иванова, 2 (май 2014 г.)

Установка состоит (рис. 2) из портала (базы) (1) на рельсовом ходу; поворотной платформы (2) для навесного оборудования; грузовой платформы (3) для размещения грузового балласта (5) массой 40–45 тс; основной направляющей мачты (4), предназначенной для монтажа свай (8) в рабочее (вертикальное) положение и дальнейшего ее погружения в грунт до проектной отметки. Грузовой балласт (5) размещается на грузовой платформе (3) и выполняет роль противовеса для создания усилия вдавливания свай.

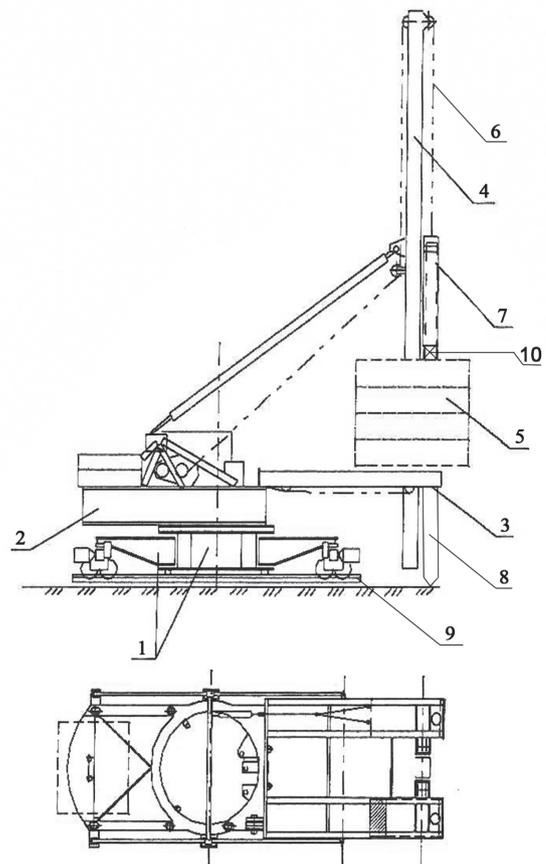


Рис. 2. Основные конструктивные элементы сваевдавляющей установки (СВУ) [1]

1 — портал установки; 2 — поворотная платформа; 3 — грузовая платформа; 4 — основная мачта; 5 — грузовой балласт; 6 — система полиспастов; 7 — рабочий элемент; 8 — погружаемая свая; 9 — рельсовый путь установки; 10 — динамический погружатель

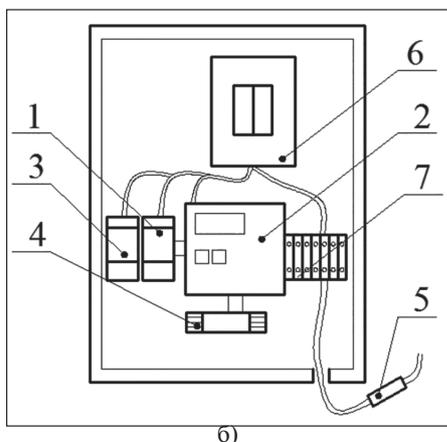
Свая погружается в грунт с помощью системы полиспастов (6), расположенных в пределах основной мачты (4) и рабочего элемента установки (7). С помощью системы полиспастов усилие вдавливания передается от грузового балласта (5) на погружаемую свая (8). В неоднородных глинистых грунтах при вдавлива-

нии свай дополнительно используют специальные конструктивные решения, с помощью которых создаются динамические или вибрационные воздействия [5, 6]. Для перемещения установки по поверхности дна котлована используется сборно-разборный рельсовый путь (9). Максимальное усилие вдавливания $N_{\text{макс}}$, передаваемое на сваю, составляет 650–700 кН (65–70 тс) [7].

Для проведения экспериментальных исследований (2011–2012 гг.) специалистами ООО «ФундаментСпецСтрой» (г. Томск) совместно со специалистами Кубанского государственного аграрного университета (КубГАУ, г. Краснодар) был разработан прибор «Измеритель И-1» (рис. 3), который позволяет получать цифровые данные по значениям усилия вдавливания свай в момент их погружения [8].



а)



б)

Рис. 3. Прибор «Измеритель И-1» для определения усилия вдавливания $N_{\text{вд}}$ готовых железобетонных свай: а — общий вид прибора; б — конструктивная схема прибора; 1 — блок питания; 2 — регистратор; 3 — преобразователь интерфейсов; 4 — модуль сбора данных; 5 — преобразователь давления; 6 — автоматический выключатель; 7 — реле подключения контактов.

Принцип действия прибора «Измеритель И-1» основан на преобразовании показаний давления гидравлической системы установки (СВУ) во время вдавливания сваи в электрический сигнал, преобразуемый в цифровые значения. Прибор «Измеритель И-1» фиксирует данные усилия вдавливания $N_{\text{вд}}$ с периодичностью 1,0 сек до момента окончания погружения сваи (отказа погружаемой сваи [9]). После проведения вдавливания сваи данные измерений сохраняются в карте памяти формата *micro SD*, установленной в модуль сбора данных прибора. С помощью кабеля *USB* записанные данные в формате *excel* сохраняются на внешнее устройство, например, портативный компьютер. Однако после каждого эксперимента полученные данные измерений в абсолютных единицах необходимо пересчитывать с помощью переходных коэффициентов, определенных ранее тарированием прибора, перевести в единицы измерения усилия вдавливания сваи (тс) [10]. Данные представляются в табличном виде и в виде графической зависимости. Экспериментальные исследования проводились на строительных площадках в г. Томске в период с ноября 2011 г. по май 2015 г. Всего было проведено около 180 экспериментов (испытаний) по определению усилия вдавливания $N_{\text{вд}}$ железобетонных свай различной длины (от 8,0 до 14,0 м), составлены таблицы полученных данных, построены графические зависимости. Прибор «Измеритель И-1» состоит (рис. 3) из блока питания (1), двухканального регистратора (2), автоматического преобразователя интерфейсов (3), модуля сбора данных (4), преобразователя давления (5), автоматического выключателя (6) и реле подсоединения контактов (7). Блок питания (1) предназначен для питания стабильным напряжением прибора. Двухканальный регистратор (2) предназначен для измерения параметров вдавливания свай, значения которых преобразуются в унифицированный сигнал постоянного тока или напряжения. Информация о любом из измеряемых параметров усилия вдавливания отображается в цифровом виде на встроенном четырехразрядном цифровом индикаторе. Автоматический преобразователь интерфейсов (3) предназначен для взаимного электрического преобразования сигналов интерфейсов (данных стандарта *USB*) с обеспече-

нием прибора «Измеритель И-1». Преобразователь интерфейсов (3) переводит полученные регистратором (2) данные в цифровой сигнал и отправляет их в модуль сбора данных (4), который предназначен для сбора, хранения и передачи полученной информации. Модуль сбора данных (4) имеет возможность установки карты памяти формата *microSD* для записи результатов экспериментов, а также *USB*-порт для подключения к карте памяти внешних устройств и дальнейшей работы (просмотр, копирование) с полученными данными по усилию вдавливания свай.

Анализ грунтовых условий опытных строительных площадок [3; 11; 12] позволил выделить из них три основных варианта. *Вариант 1* — грунтовые условия сложены преимущественно однородными грунтами. Для варианта 1 характерны инженерно-геологические условия опытной строительной площадки по ул. А. Иванова, 2 в г. Томске. Они представлены с поверхности насыпными грунтами мощностью от 2,0 до 2,2 м. Далее расположен слой суглинка тяжелого тугопластичной консистенции мощностью 1,8–2,0 м, залегающего до отметки 3,8–4,0 м от уровня дна котлована. Затем расположен слой суглинка легкого, текучепластичной консистенции мощностью от 9,4 до 9,8 м. Для слоя суглинка легкого модуль деформации E изменяется от 6,0 до 17,0 МПа. Угол внутреннего трения φ — от 14 до 22°, а удельное сцепление c — от 10 до 26 кПа. *Вариант 2* — грунтовые условия сложены неоднородными грунтами. Они представлены различными инженерно-геологическими элементами с наличием прослоек из более плотного грунта. Для варианта 2 характерны грунтовые условия на опытной строительной площадке по ул. Косарева, 14 в г. Томске, которые с поверхности представлены насыпными грунтами мощностью от 1,2 до 2,2 м. Далее следует суглинок легкий мягкопластичной консистенции мощностью от 3,2 до 4,1 м. Ниже залегает слой супеси текучей консистенции мощностью от 3,8 до 4,2 м. В рассматриваемой грунтовой толще также встречаются прослойки песка мелкого водонасыщенного средней плотности; мощность таких прослоек изменяется от 0,8 до 1,4 м. В приведенных грунтовых условиях (вариант 2) модуль деформации грунта E изменяется от 8,0 до 11,0 МПа в суглинках и до 22 МПа в прослойках песка. Угол

внутреннего трения φ — от 18 до 31°, а удельное сцепление c — от 8 до 16 кПа. *Вариант 3* — характерен при устройстве свайных фундаментов методом вдавливания свай в зимнее время года. В рассматриваемом варианте 3 существенное влияние на процесс производства работ оказывает толщина промерзшего грунта с поверхности основания. Опыты по исследованию усилия вдавливания в зимнее время года (вариант 3) проводились на строительной площадке по ул. Белинского, 8 в г. Томске (с ноября 2011 по февраль 2012 г.). Грунтовая толща была представлена с поверхности насыпными промерзшими грунтами мощностью от 1,2 до 2,1 м. Далее расположен слой супеси текучей консистенции мощностью от 6,7 до 8,5 м. Модуль деформации E для супеси текучей изменяется от 12,0 до 15,0 МПа; угол внутреннего трения φ — от 15 до 18°, а удельное сцепление c — от 12 до 18 кПа [13–15].

Непосредственно перед проведением экспериментальных исследований на рассматриваемых строительных площадках (по ул. Косарева, ул. Белинского, ул. А.Иванова в г. Томске) проводилось тарирование прибора «Измеритель И-1». Для этого, на устроенную в грунте железобетонную сваю, монтировался гидравлический домкрат, рядом устанавливалась ручная масляная насосная станция с цифровым манометром [4; 5; 7]. Далее с помощью грузового балласта установки СВУ и системы полиспадов на сваю передавалось вдавливающее усилие $N_{вд}$ различной величины через систему полиспадов. Одновременно снимались показания усилия вдавливания $N_{вд}$ на дисплее регистратора прибора «Измеритель И-1» и данные гидравлического давления на цифровом манометре. Полученные результаты представлены в табл. 1.

Таблица 1

Результаты тарировки прибора «Измеритель И-1» для оценки усилия вдавливания свай

Тип свай	Номера опытов	Показания цифрового манометра на гидростанции, кгс/см ² , (кПа)	Усилие вдавливания на сваю, установленное экспериментально, тс (кН)	Усилие вдавливания по прибору «Измеритель И-1», тс (кН)
С120.30-10	1	50,0 (4903)	7,3 (71,6)	8,1 (79,5)
	2	80,0 (7845)	12,1 (118,7)	12,3 (120,7)

Окончание табл. 1

Тип сваи	Номера опытов	Показания цифрового манометра на гидростанции, кгс/см ² , (кПа)	Усилие вдавливания на сваю, установленное экспериментально, тс (кН)	Усилие вдавливания по прибору «Измеритель И-1», тс (кН)
С120.30-10	3	120,0 (11768)	17,4 (170,7)	17,6 (172,7)
	4	150,0 (14710)	21,9 (214,8)	22,3 (218,8)
	5	200,0 (19613)	29,4 (288,4)	29,8 (292,3)
	6	250,0 (24516)	36,7 (360,1)	36,1 (354,1)
	7	300,0 (29419)	44,3 (434,6)	43,7 (428,7)

Отклонения значений усилия вдавливания $N_{вд}$ на железобетонную сваю, полученных экспериментально (по цифровому манометру, установленного на ручной масляной станции) от данных $N_{вд}$ по прибору «Измеритель И-1» обобщались и анализировались. Было установлено, что это отклонение не превышает в среднем 12–14%.

Методика проведения экспериментальных исследований оценки (определения) усилия вдавливания свай $N_{вд}$ в глинистые грунты предполагает следующие технологические операции:

- предварительная поверка прибора «Измеритель И-1» (проверка подключения его составных частей, индикатора записи данных карты *microSD* и др.);
- включение прибора «Измеритель И-1» в сеть до момента начала погружения сваи вдавливанием;
- погружение железобетонной сваи вдавливанием, контроль за данными на дисплее прибора, снятие показаний;
- выключение прибора «Измеритель И-1» после окончания погружения сваи (достижения ею проектной отметки, отказа);
- копирование полученных экспериментальных данных на внешнее портативное устройство.

Таким образом, разработанная методика оценки усилия вдавливания железобетонных свай позволила получить результаты для их практического использования.

Прибор «Измеритель И-1» фиксирует усилие вдавливания свай $N_{вд}$ во время их погружения в глинистый грунт [14], записывая цифровые данные на карту памяти формата *microSD*, преобразуя их в формат электронного текстового документа с расширением *.xls* (*MS excel*). На основе полученных данных были построены

графические зависимости усилия вдавливания свай в зависимости от глубины их погружения $N_{вд} = f(h)$ (рис. 4–6). Анализ полученных результатов позволил выделить три основных случая изменения усилия вдавливания свай $N_{вд}$ в глинистые грунты:

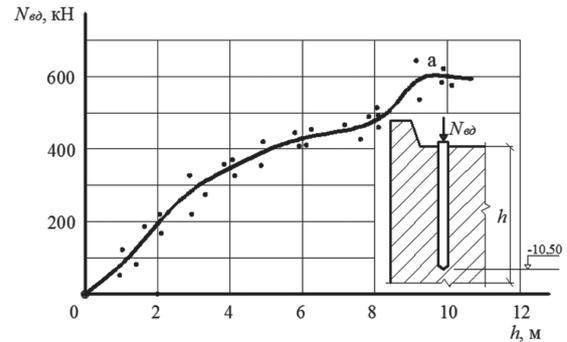


Рис. 4. Графическая зависимость усилия вдавливания $N_{вд}$ от глубины погружения сваи h в однородный глинистый грунт на строительной площадке по ул. А. Иванова в г. Томске

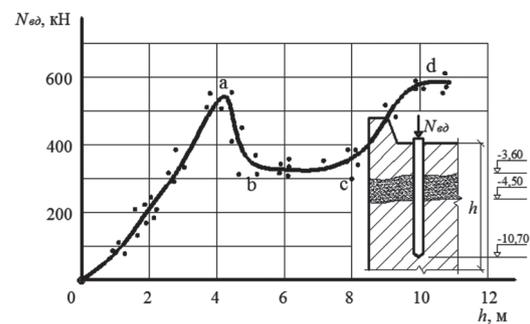


Рис. 5. Графическая зависимость усилия вдавливания $N_{вд}$ от глубины погружения сваи h в неоднородный глинистый грунт (с наличием плотной прослойки) на строительной площадке по ул. Косарева в г. Томске, 2013 г.

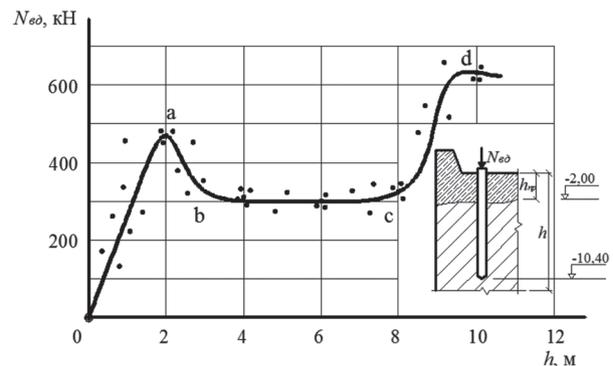


Рис. 6. Графическая зависимость усилия вдавливания $N_{вд}$ от глубины погружения сваи h в неоднородный глинистый грунт (с наличием промерзающего слоя в зимнее время) на строительной площадке по ул. Белинского в г. Томске

1. Свая вдавливается в однородный глинистый грунт, где происходит постепенное увеличение усилия вдавливания $N_{вд}$ (участок $o-a$). При этом такая закономерность наблюдается вплоть до проектной отметки погружения сваи (рис. 4). В рассматриваемом случае графическая зависимость $N_{вд} = f(h)$ близка к линейной и резкие изменения усилия вдавливания $N_{вд}$ практически исключены. Но при этом необходимо учитывать, что с поверхности основания и до глубины примерно 2,0–2,5 м могут встречаться техногенные включения из битого кирпича, обломков фундаментов и другого строительного мусора, которые могут исказить показания прибора «Измеритель И-1». Поэтому, в таких случаях важно дублировать показания прибора «Измеритель И-1» при вдавливании соседних свай и свай-дублеров.
2. Свая вдавливается в неоднородный глинистый грунт, имеющий в пределах глубины h прослойку более прочного (твердого) грунта. Наличие прослойки приводит к определенным закономерностям изменения усилия вдавливания $N_{вд}$ свай (рис. 5). На участке $o-a$ усилие вдавливания $N_{вд}$ возрастает практически по линейной зависимости. Затем, после прохождения сваей прослойки из более прочного грунта, наблюдается значительное уменьшение значений $N_{вд}$ (участок $a-b$) и его последующее постепенное возрастание к моменту достижения сваей проектной отметки (участки $b-c$ и $c-d$) (см. рис. 6).
3. Работы по вдавливанию свай ведутся в зимнее время. Свая вдавливается в глинистый грунт, имеющий в пределах глубины h равной 0,5–2,0 м слой мерзлого грунта. Наличие такого слоя приводит к определенным закономерностям изменения усилия вдавливания $N_{вд}$ свай (см. рис. 6), которое качественно совпадает со случаем 2.
По результатам проведенных исследований усовершенствована методика оценки усилия вдавливания $N_{вд}$ готовых железобетонных свай заводского изготовления в глинистые грунты на различных строительных площадках. Для этого разработан прибор «Измеритель И-1», принцип действия которого основан на преобразовании показаний давления гидравлической системы сваевдавливающей установки (СВУ) в процессе погружения свай в электрический сигнал, преобразуемый в цифровые значения. Прибор прошел апробацию при устройстве свайных фундаментов зданий и используется для контроля несущей способности свай в глинистых грунтах на этапе их проектирования и строительства. Результаты вдавливания готовых железобетонных свай в глинистые грунты показали общие закономерности изменения усилий вдавливания $N_{вд}$ в зависимости от глубины их погружения h . Выявлено, что при глубине погружения h готовых свай на 7–8 м усилие их вдавливания $N_{вд}$ в глинистый грунт составляет в пределах $N_{вд} = 430–520$ кН (42–53 тс). Имеющийся разброс в значениях усилий вдавливания $N_{вд}$ свидетельствует, что разработанная методика их определения требует дальнейшего совершенствования.

Литература

1. Патент № 2206664 РФ, 7Е 02Д 7/20. Установка для погружения свай вдавливанием / С.В. Юшубе, А.И. Полищук, Ю.Б. Андриенко, С.С. Нуйкин. — Заявлено 29.08.2001. Зарегистрировано 20.06.2003. Бюлл. № 17.
2. Полищук А.И. Анализ грунтовых условий строительства при проектировании фундаментов зданий [Текст]: науч.-практич. пособие / А.И. Полищук. — М.: Изд-во АСВ, 2016. — 104 с.
3. Смоляницкий Л.А. Инженерно-геологические и геотехнические изыскания для строительства [Текст] / Л.А. Смоляницкий. — М.: Изд-во АСВ, 2017. — 248 с.
4. Полищук А.И. Совершенствование способа устройства свай вдавливанием на площадках городской застройки [Текст] / А.И. Полищук, С.С. Нуйкин // Вестник ПНИПУ. Строительство и архитектура. — 2014. — № 3. — С. 52–59.
5. Мангушев Р.А. Устройство и реконструкция оснований и фундаментов на слабых и структурно-неустойчивых грунтах [Текст]: монография / Р.А. Мангушев, А.И. Осокин, Р.А. Усманов; под ред. Р.А. Мангушева. — СПб.: Лань, 2018. — 460 с.
6. СП 50-102-2003 Проектирование и устройство свайных фундаментов [Текст]. — М.: Госстрой России, 2004. — 20 с.
7. Патент № 2593517 РФ, E02D7/26. Комбинированный способ погружения свай А.И. Полищук, С.С. Нуйкин. — Заявлено 03.06.2015. Зарегистрировано 10.08.2016.
8. Мангушев Р.А. Сваи и свайные фундаменты. Конструкции, проектирование и технологии [Текст] / Р.А. Мангушев.

- шев, В.В. Знаменский, А.Л. Готман, А.Б. Пономарев. — 2-е изд. — М.: Изд-во АСВ, 2018. — 320 с.
9. *Прозин Я.А.* Перспективные фундаменты на сильносжимаемых грунтовых основаниях [Текст] / Я.А. Прозин, Л.Р. Епифанцева, Ю.В. Наумкина, Р.В. Мельников. — М.: Изд-во АСВ, 2017. — 350 с.
 10. *Зоценко М.Л.* Инженерна геологія. Механіка ґрунтів, основи і фундаменти [Текст] / М.Л. Зоценко [и др.]. — Полтава: Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка (ПолтНТУ), 2003. — 560 с.
 11. *Мангушев Р.А.* Современные свайные технологии [Текст] / Р.А. Мангушев, А.В. Ершов, А.И. Осокин. — М.: Изд-во АСВ, 2010. — 235 с.
 12. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения [Текст]. 2-е изд., доп. и перераб. / Под общ. ред. В.А.Ильичева и Р.А.Мангушева. — М.: Изд-во АСВ, 2016. — 1040 с.
 13. *Braja M.Das.* Principles of Foundation Engineering. Sixth Edition. Publisher. Thomson India, 2006. 480 p.
 14. *Braja M.Das.* Shallow Foundations Bearing Capacity and Settlement. Third Edition. Publisher. CRC Press, 2017. 408 p.
 15. *Невзоров А.Л.* Основания и фундаменты: пособие по расчету и конструированию [Текст]: учеб. пособие / А.Л. Невзоров. — М.: Изд-во АСВ, 2018. — 154 с.

References

1. Yushchube S.V., Polishchuk A.I., Andrienko Yu.B., Nuykin S.S. *Patent № 2206664 RF, 7E 02D 7/20. Ustanovka dlya pogruzheniya svay vdavlivaniem* [Patent No. 2206664 of the Russian Federation, 7E 02D 7/20. Installation for piling with indentation].
2. Polishchuk A.I. *Analiz gruntovykh usloviy stroitel'stva pri proektirovanii fundamentov zdaniy* [Analysis of soil construction conditions in the design of building foundations]. Moscow: ASV Publ., 2016. 104 p.
3. Smolyanitskiy L.A. *Inzhenerno-geologicheskie i geotekhnicheskie izyskaniya dlya stroitel'stva* [Geotechnical and geotechnical surveys for construction]. Moscow: ASV Publ., 2017. 248 p.
4. Polishchuk A.I., Nuykin S.S. *Sovershenstvovanie sposoba ustroystva svay vdavlivaniem na ploshchadkakh gorodskoy zastroyki. Vestnik PNIPU. Stroitel'stvo i arkhitektura* [Improving the method of piling indentation on the sites of urban development. Bulletin PNRPU. Construction and architecture]. Perm': PNIPU Publ., 2014, I. 3, pp. 52–59.
5. Mangushev R.A., Osokin A.I., Usmanov R.A. *Ustroystvo i rekonstruktsiya osnovaniy i fundamentov na slabyykh i strukturno-neustoychivyykh gruntakh* [Construction and reconstruction of foundations and foundations on weak and structurally unstable soils]. St. Petersburg: «Lan'» Publ., 2018. 460 p.
6. *SP 50-102-2003 Proektirovanie i ustroystvo svaynykh fundamentov* [SP 50-102-2003 Design and installation of pile foundations]. Moscow: Gosstroy Rossii Publ., 2004.
7. *Patent № 2593517 RF, E02D7/26. Kombinirovannyi sposob pogruzheniya svai* [Patent No. 2593517 of the Russian Federation, E02D7 / 26. The combined method of immersion pile].
8. Mangushev R.A., Znamenskiy V.V., Gotman A.L., Ponomarev A.B. *Svai i svaynye fundamenty. Konstruktsii, proektirovanie i tekhnologii* [Piles and pile foundations. Constructions, design and technology]. Moscow: ASV Publ., 2018. 320 p.
9. Pronozin Ya.A., Epifantseva L.R., Naumkina Yu.V., Mel'nikov R.V. *Perspektivnye fundamenty na sil'noszhimayemykh gruntovykh osnovaniyakh* [Prospective foundations on highly compressive soil bases]. Moscow: ASV Publ., 2017. 350 p.
10. Zotsenko M.L., Kovalenko V.I., Yakovlev A.V., Petrakov O.O., Shvets' V.B., Shkola O.V., Bida S.V., Vinnikov Yu.L. *Inzhenerna geologiya. Mekhanika gruntiv, osnovi i fundamenti* [Engineering geology. Mekhanika of soils, bases and foundations]. Poltava: Poltav's'kiy natsional'niy tekhnichniy universitet imeni Yuriya Kondratyuka (PoltNTU) Publ., 2003. 560 p.
11. Mangushev R.A., Ershov A.V., Osokin A.I. *Sovremennyye svaynye tekhnologii* [Modern piling technology]. Moscow: ASV Publ., 2010. 235 p.
12. *Spravochnik geotekhnika. Osnovaniya, fundamenty i podzemnye sooruzheniya: izdanie vtoroe, dopolnennoe i pererabotannoe* [Reference geotechnics. Foundations, foundations and underground structures: second edition, supplemented and revised]. Moscow: ASV Publ., 2016. 1040 p.
13. Braja M. Das. Principles of Foundation Engineering. Sixth Edition. Publisher — Thomson India, 2006. 480 p.
14. Braja M. Das. Shallow Foundations Bearing Capacity and Settlement. Third Edition. Publisher. CRC Press, 2017. 408 p.
15. Nevzorov A.L. *Osnovaniya i fundamenty. Posobie po raschetu i konstruirovaniyu* [Bases and foundations. Allowance for the calculation and design]. Moscow: ASV Publ., 2018. 154 p.