



**ВЕСТНИК ПНИПУ.
СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА**
Т. 9, № 4, 2018
**PNRPU BULLETIN.
CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE**
<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>



DOI: 10.15593/2224-9826/2018.4.06

УДК 624.154.4

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ УСИЛИЯ ВДАВЛИВАНИЯ ЖЕЛЕЗОБЕТОННЫХ СВАЙ ЗАВОДСКОГО ИЗГОТОВЛЕНИЯ В ГЛИНИСТЫЕ ГРУНТЫ

А.И. Полищук, С.С. Нуйкин

Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 09 июля 2018
Принята: 05 сентября 2018
Опубликована: 28 декабря 2018

Ключевые слова:

усилие вдавливания, железобетонные сваи, глинистые грунты, вдавливание свай, сравнение результатов

АННОТАЦИЯ

Рассматриваются вопросы оценки усилий вдавливания железобетонных свай заводского изготовления в глинистые грунты, которые погружались сваевдавливающей установкой в городских условиях. Сваевдавливающая установка разработана в 2003 г. (авторы С.В. Ющубе, А.И. Полищук, Ю.Б. Андриенко, С.С. Нуйкин) и предназначена для устройства готовых 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 40 000 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 специальный 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 сваи в электрический сигнал, преобразуемый в цифровые значения. Экспериментальные исследования проводились для трех основных вариантов грунтовых условий: однородные грунты, неоднородные грунты и с промерзшим с поверхности основания грунтом. Все экспериментальные площадки находятся в Томске. Перед каждым исследованием проводилась тарировка прибора «Измеритель И-1». Приведены основные результаты усилий вдавливания свай и построены графические зависимости. Выполнены анализ и обобщение результатов экспериментальных исследований.

© ПНИПУ

© Полищук Анатолий Иванович – доктор технических наук, профессор, e-mail: ofpai@mail.ru.
Нуйкин Сергей Сергеевич – аспирант, e-mail: nuismith@yandex.ru.

Anatoliy I. Polyschyk – Doctor of Technical Sciences, Professor, e-mail: ofpai@mail.ru.
Sergey S. Nyikin – Postgraduate Student, e-mail: nuismith@yandex.ru.

EXPERIMENTAL RESEARCH OF EFFORT INDENTATION OF PREFABRICATED REINFORCED CONCRETE PILES IN CLAY SOILS

A.I. Polyschyk, S.S. Nuikin

Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russia

ARTICLE INFO

Received: 09 July 2018
Accepted: 05 September 2018
Published: 28 December 2018

Keywords:

Prefabricated concrete piles, pile indentation equipment, finding of effort indentation, load-bearing capacity of piles

ABSTRACT

The article discusses the pile indentation equipment for drive prefabricated reinforced concrete piles which is used in clay soils in urban environments. It was developed in 2003 and intended for drive 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 driven 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 the efforts of the indentation piles at predetermined elevations. The article describes a structure of the 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. Experimental studies were carried out for three main variants of soil conditions: homogeneous soils, heterogeneous soils and soil frozen from the surface of the base. All experimental sites are located in Tomsk. Before each study was carried out calibration of the device. The article presents the main results of the effort indentation of piles, also tables of received values and graphics. The article performed an analysis and the generalization of the results of experimental research.

© PNRPU

Общие сведения

Для проведения экспериментальных исследований усилия вдавливания $N_{вд}$ железобетонных свай заводского изготовления использовалась сваевдавляющая установка (СВУ), которая предназначена для работы на строительных площадках городской застройки. Установка была разработана в 2003 г. специалистами С.В. Ющубе, А.И. Полищуком, А.Б. Андриенко, С.С. Нуйкиным; ее конструкция запатентована в России [1]. Сваевдавляющая установка позволяет погружать железобетонные сваи заводского изготовления различного поперечного сечения (квадратные, круглые, призматические, кольцевые и др.) в глинистые грунты (цельные – до 12 м; составные – до 16 м) [2, 3]. 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 городов России (рис. 1) [4, 5].

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 сваи 8 в рабочее (вертикальное) положение и дальнейшего ее погружения до проектной отметки. Грузовой балласт 5 размещается на грузовой платформе 3 и выполняет функцию противовеса для создания усилия вдавливания сваи.

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 сваю 8. В неоднородных глинистых грунтах при вдавливании свай дополнительно используют специальные

конструктивные решения, с помощью которых создаются динамические или вибрационные воздействия [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].



Рис. 1. Общий вид сваевдавливающей установки (СВУ) на строительных площадках в г. Томске:
а, б – соответственно по ул. А. Иванова, 2 (май 2014 г.) и ул. Косарева, 14 (ноябрь 2013 г.)

Fig. 1. General view of piles indentation equipment on construction sites in Tomsk:
а, b – respectively, on st. A.Ivanova, 2 (May 2014) and st. Kosareva, 14 (November 2013)

Методика оценки усилия вдавливания свай

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

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 с до момента окончания погружения сваи (отказа погружаемой сваи [9]). После проведения вдавливания сваи данные измерений сохраняются в карте памяти формата microSD, 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, переводить в единицы измерения усилия вдавливания сваи (тс) [10].

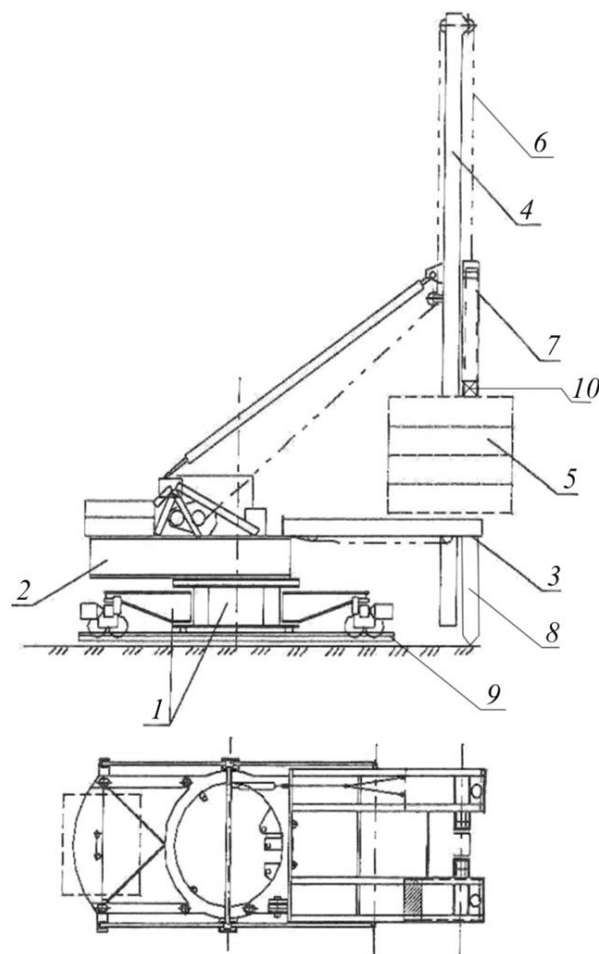


Рис. 2. Основные конструктивные элементы сваевдавливающей установки (СВУ) [1]:
1 – портал установки; 2 – поворотная платформа; 3 – грузовая платформа; 4 – основная мачта;
5 – грузовой балласт; 6 – система полиспастов; 7 – рабочий элемент; 8 – погружаемая свая;
9 – рельсовый путь установки; 10 – динамический погружатель

Fig. 2. Basic structural elements of piles indentation equipment (SVU) [1]: 1 – installation portal;
2 – rotary platform; 3 – cargo platform; 4 – main mast; 5 – cargo ballast; 6 – system of polispast;
7 – working element; 8 – submerged pile; 9 – rail way of installation; 10 – dynamic loader

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 $N_{вд}$ железобетонных свай различной длины (от 8,0 до 14,0 м), составлены таблицы полученных данных, построены графические зависимости. Прибор «Измеритель И-1» состоит (см. 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 интер-

фейсов (данных стандарта USB) с обеспечением 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.

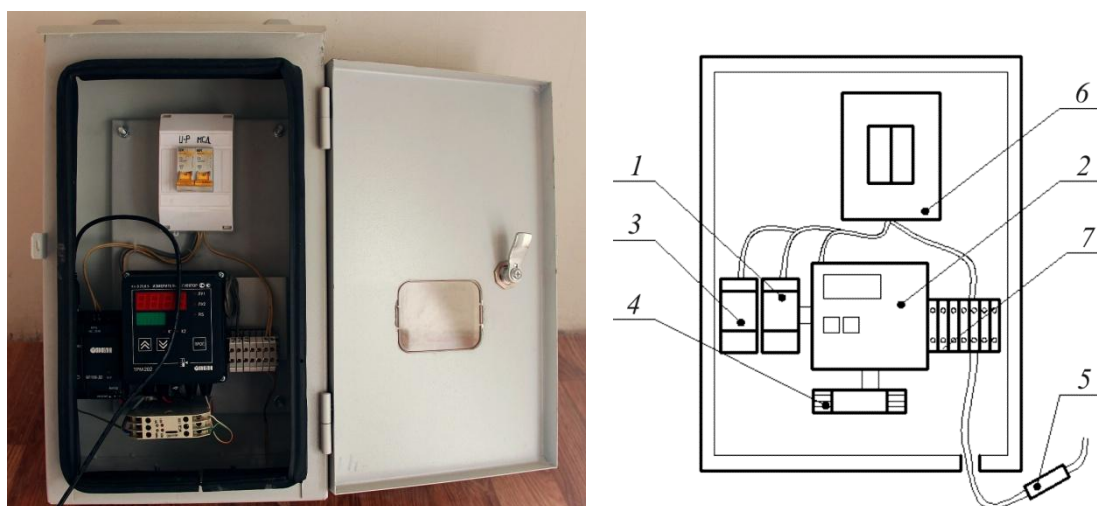


Рис. 3. Прибор «Измеритель И-1» для определения усилия вдавливания готовых железобетонных свай: а – общий вид прибора; б – конструктивная схема прибора; 1 – блок питания; 2 – регистратор; 3 – преобразователь интерфейсов; 4 – модуль сбора данных; 5 – преобразователь давления; 6 – автоматический выключатель;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

Fig. 3. The device "Meter I-1" for determining the force of indentation of finished reinforced concrete piles: а – general view of the device; б – construction sheme of the device; 1 – power supply; 2 – registrar; 3 – interface converter; 4 – data acquisition module; 5 – pressure converter; 6 – safety switch; 7 – relay for connection of contacts

Анализ грунтовых условий опытных строительных площадок [3, 11, 12] позволил выделить 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 грунтовой толще также встречаются прослойки песка

мелкого водонасыщенного средней плотности; мощность таких прослоек изменяется от 0,8 до 1,4 м. В рассматриваемых грунтовых условиях (вариант 2) модуль деформации грунта E изменяется от 8,0 до 11,0 МПа в суглинках и супеси 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 таблице.

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

Results of calibrating “Meter I-1” for evaluation pile driving forces

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	1	50,0 (4903)	7,3 (71,6)	8,1 (79,5)
	2	80,0 (7845)	12,1 (118,7)	12,3 (120,7)
	3	120,0 (11 768)	17,4 (170,7)	17,6 (172,7)
	4	150,0 (14 710)	21,9 (214,8)	22,3 (218,8)
	5	200,0 (19 613)	29,4 (288,4)	29,8 (292,3)
	6	250,0 (24 516)	36,7 (360,1)	36,1 (354,1)
	7	300,0 (29 419)	44,3 (434,6)	43,7 (428,7)

Отклонения значений усилия вдавливания $N_{вд}$ на железобетонную сваю, полученных экспериментально (по цифровому манометру, установленному на ручной масляной станции), от данных $N_{вд}$ по прибору «Измеритель» 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.

Основные результаты экспериментальных исследований

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).

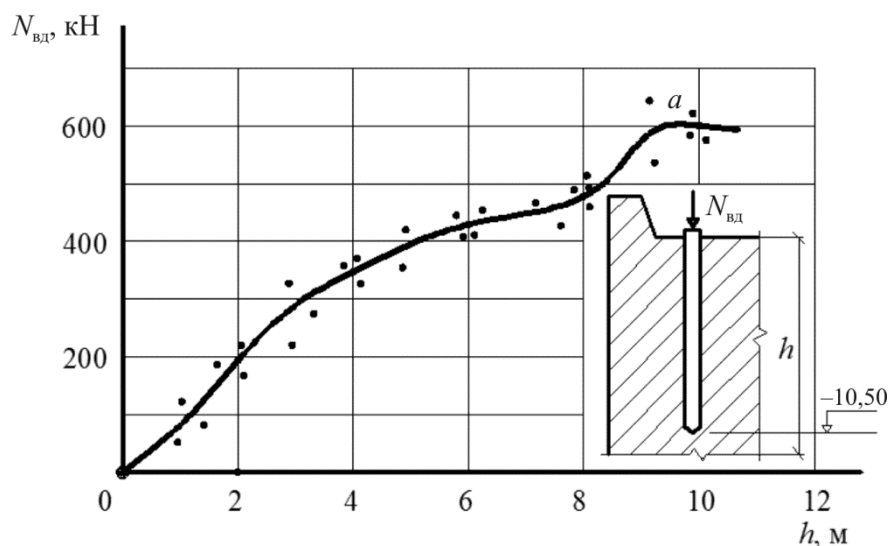


Рис. 4. Графическая зависимость усилия вдавливания $N_{вд}$ от глубины погружения сваи h в однородный глинистый грунт на строительной площадке по ул. А. Иванова в г. Томске
Fig. 4. Graphic dependence of pressing force $N_{вд}$ on depth of piles immersion h in homogeneous clay soil on construction site at A. Ivanova st. in Tomsk

Анализ полученных результатов позволил выделить три основных случая изменения усилия вдавливания свай $N_{вд}$ в глинистые грунты:

1. Свая вдавливается в однородный глинистый грунт, где происходит постепенное увеличение усилия вдавливания $N_{вд}$ (участок 0–а). При этом такая закономерность наблюдается

вплоть до проектной отметки погружения сваи (см. 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 искажать показания прибора «Измеритель И-1». Поэтому в таких случаях важно дублировать показания прибора «Измеритель И-1» при вдавливании соседних свай и свай-дублеров.

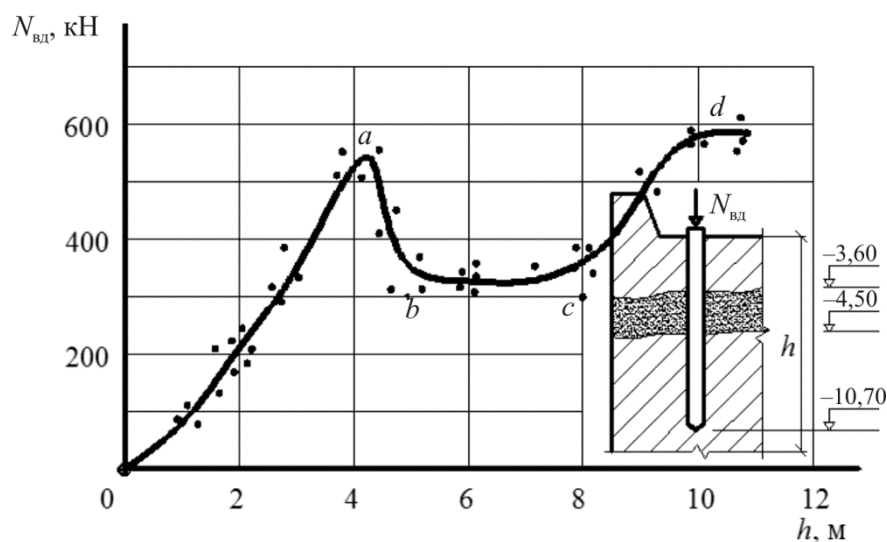


Рис. 5. Графическая зависимость усилия вдавливания $N_{вд}$ от глубины погружения сваи h в неоднородный глинистый грунт (с наличием плотной прослойки) на строительной площадке по ул. Косарева в г. Томске, 2013 г.

Fig. 5. Graphic dependence of pressing force N_{vd} on depth of piles immersion h in heterogeneous clay soil (with dense layer) on construction site at Kosareva st. in Tomsk

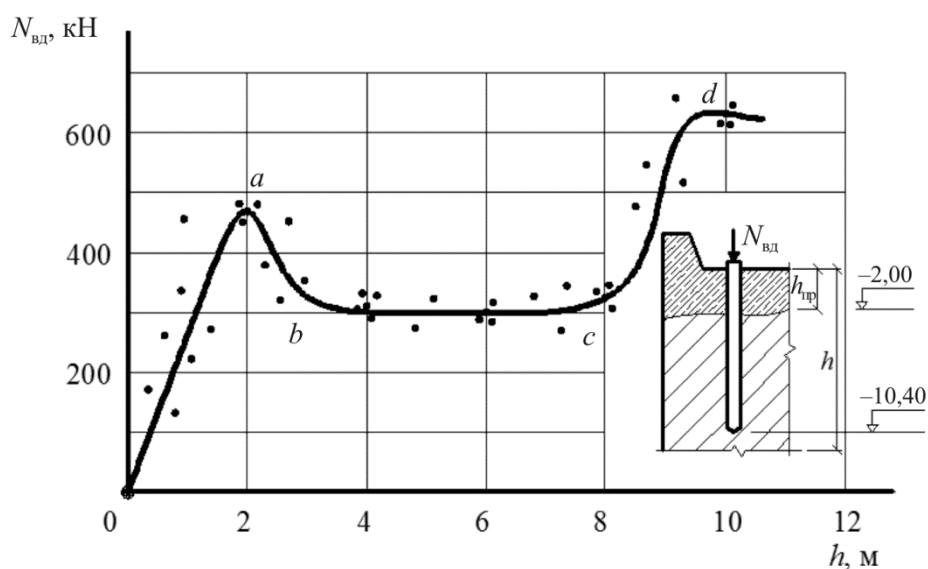


Рис. 6. Графическая зависимость усилия вдавливания $N_{вд}$ от глубины погружения сваи h в неоднородный глинистый грунт (с наличием промерзающего слоя в зимнее время) на строительной площадке по ул. Белинского в г. Томске

Fig. 6. Graphic dependence of pressing force N_{vd} on depth of piles immersion h in heterogeneous clay soil (with ice ground in winter time) on construction site at Belinskogo st. in Tomsk

2. Свая вдавливаются 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 (см. рис. 5). На участке **0–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 вдавливаются 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.

Заключение

1. Усовершенствована методика оценки усилия вдавливания $N_{вд}$ готовых железобетонных свай заводского изготовления в глинистые грунты. 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 и используется для контроля несущей способности свай в глинистых грунтах на этапе проектирования и строительства фундаментов зданий.

2. По результатам вдавливания готовых железобетонных свай в глинистые грунты установлены 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 430–520 кН (42–53 тс). Имеющийся разброс в значениях усилий вдавливания $N_{вд}$ свидетельствует о том, что разработанная методика их определения требует дальнейшего совершенствования.

Библиографический список

1. Установка для погружения свай вдавливанием: пат. Рос. Федерация / С.В. Ющубе, А.И. Полищук, Ю.Б. Андриенко, С.С. Нуйкин. – № 2206664; заявл. 29.08.01; опубл. 20.06.2003. Бюл. № 17.
2. Полищук А.И. Анализ грунтовых условий строительства при проектировании фундаментов зданий: науч.-практ. пособие. – М.: Изд-во АСВ, 2016. – 104 с.
3. Ponomaryov A.B., Sychkina E.N. Analysis of strain anisotropy and hydroscopic property of clay and claystone // Applied Clay Science. – 2015. – Т. 114. – Р. 161–169.
4. Смоляницкий Л.А. Инженерно-геологические и геотехнические изыскания для строительства. М.: Изд-во АСВ, 2017. – 248 с.
5. Полищук А.И., Нуйкин С.С. Совершенствование способа устройства свай вдавливанием на площадках городской застройки // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2014. – № 3. – С. 52–59.
6. Мангушев Р.А., Осокин А.И., Усманов Р.А. Устройство и реконструкция оснований и фундаментов на слабых и структурно-неустойчивых грунтах: моногр. / под ред. Р.А. Мангушева. – СПб.: Лань, 2018. – 460 с.

7. Комбинированный способ погружения свай: пат. Рос. Федерация / А.И. Полищук, С.С. Нуйкин. – № 2593517; заявл. 03.06.2015; опубл. 10.08.2016.
8. Свай и свайные фундаменты. Конструкции, проектирование и технологии / Р.А. Мангушев, В.В. Знаменский, А.Л. Готман, А.Б. Пономарев. – 2-е изд. – М.: Изд-во АСВ, 2018. – 320 с.
9. Перспективные фундаменты на сильносжимаемых грунтовых основаниях / Я.А. Пронозин, Л.Р. Епифанцева, Ю.В. Наумкина, Р.В. Мельников. – М.: Изд-во АСВ, 2017. – 350 с.
10. Інженерна геологія. Механіка ґрунтів, основи і фундаменти / М.Л. Зоценко, В.І. Коваленко, А.В. Яковлєв, О.О. Петраков, В.Б. Швець, О.В. Школа, С.В. Біда, Ю.Л. Винников. – Полтава: Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка (ПолтНТУ), 2003. – 560 с.
11. Мангушев Р.А., Ершов А.В., Осокин А.И. Современные свайные технологии. – М.: Изд-во АСВ, 2010. – 235 с.
12. Справочник геотехника. Основания, фундаменты и подземные сооружения: 2-е изд., доп. и перераб. / под общ. ред. В.А. Ильичева, Р.А. Мангушева. – М.: Изд-во АСВ, 2016. – 1040 с.
13. Braja M. Das. Principles of foundation engineering. – 6th ed. – Thomson India, 2006. – 480 p.
14. Braja M. Das. Shallow foundations bearing capacity and settlement: 3rd ed. – CRC Press, 2017. – 408 p.
15. Невзоров А.Л. Основания и фундаменты. Пособие по расчету и конструированию: учеб. пособие. – М.: Изд-во АСВ, 2018. – 154 с.

References

1. Yushchube S.V., Polishchuk A.I., Andrienko Yu.B., Nuikin S.S. Ustanovka dlya pogruzheniya svaj vdavlivaniem [Equipment for pile indentation]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2206664 (2003).
2. Polishchuk A.I. Analiz gruntovykh uslovij stroitel'stva pri proektirovanii fundamentov zdaniy [Analys of soil conditions in construction in design of building's foundations]. Moscow, ASV, 2016, 104 pp.
3. Ponomaryov A.B., Sychkina E.N. Analysis of strain anisotropy and hydroscopic property of clay and claystone. *Applied Clay Science*, 2015, vol. 114, pp. 161-169.
4. Smolyanickij L.A. Inzhenerno-geologicheskie i geotekhnicheskie izyskaniya dlya stroitel'stva [Engineering geological and geotechnical surveys for construction]. Moscow, ASV, 2017, 248 p.
5. Polishchuk A.I., Nuikin S.S. Sovershenstvovanie sposoba ustrojstva svaj vdavlivaniem na ploshchadkakh gorodskoj zastroyki [Perfection of the method of piling with indentation in urban development sites]. *Vestnik PNIPU. Stroitel'stvo i arhitektura*, 2014, no. 3, pp. 52-59.
6. Mangushev R.A., Osokin A.I., Usmanov R.A. Ustrojstvo i rekonstrukciya osnovanij i fundamentov na slabyyh i strukturno-neustojchivyyh gruntah [Arrangement and reconstruction of foundations and foundations on weak and structurally unstable soils]. Ed. R.A. Mangushev. Saint Petersburg, Lan', 2018, 460 p.
7. A.I. Polishchuk, S.S. Nuikin. Kombinirovannyj sposob pogruzheniya svai [Combined way of pile indentation]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2593517 (2016).

8. Mangushev R.A., Znamenskij V.V., Gotman A.L., Ponomarev A.B. Svai i svajnye fundamenty. Konstrukcii, proektirovanie i tekhnologii [Piles and pile foundations. Constructions, design and technology]. 2nd ed. Moscow, ASV, 2018, 320 p.

9. Pronozin Ya.A., Epifanceva L.R., Naumkina Y.V., Mel'nikov R.V. Perspektivnye fundamenty na sil'noszhimaemyh gruntovyh osnovaniyah. [Perspective foundations on highly compressible soil bases]. Moscow, ASV, 2017, 350 p.

10. Zocenko M. L., Kovalenko V. I., YAKovlev A. V., Petrakov O. O., Shvec' V. B., Shkola O. V., Bida SV., Vinnikov Y. L. Inzhenerna geologiya. Mekhanika gruntiv, osnovi i fundamenti [Engineering geology. Mechanics of soils, bases and foundations]. Poltava, Poltavs'kii nacional'nii tekhnichnii universitet imeni Yuriya Kondratyuka, 2003, 560 p.

11. Mangushev R.A., Ershov A.V., Osokin A.I. Sovremennye svajnye tekhnologii. [Modern pile technology]. Moscow, ASV, 2010, 235 p.

12. Spravochnik geotekhnika. Osnovaniya, fundamenty i podzemnye sooruzheniya [Reference book of geotechnics. Bases, foundations and underground structures]. 2nd ed. Eds. V.A. Il'ichev, R.A. Mangushev. Moscow, ASV, 2016, 1040 p.

13. Braja M. Das. Principles of foundation engineering. 6th ed. Thomson India, 2006, 480 p.

14. Braja M. Das. Shallow foundations bearing capacity and settlement. 3rd ed. CRC Press, 2017, 408 p.

15. Nevzorov A.L. Osnovaniya i fundamenty. Posobie po raschetu i konstruirovaniyu [Bases and foundations. Computation and design manual. Moscow, ASV, 2018, 154 p.