

ОСНОВАНИЯ И ФУНДАМЕНТЫ, ПОДЗЕМНЫЕ СООРУЖЕНИЯ

УДК 658.562:624.155

*ЮЩУБЕ СЕРГЕЙ ВАСИЛЬЕВИЧ, канд. техн. наук, доцент,
sv@tsuab.ru*

*СУЛИМА ВЛАДИСЛАВ АРКАДЬЕВИЧ, инженер,
s.v.a1982@mail.ru*

*ТАРАСОВ АЛЕКСАНДР АЛЕКСАНДРОВИЧ, ст. преподаватель,
tar.a.a@mail.ru*

*Томский государственный архитектурно-строительный университет,
634003, г. Томск, пл. Соляная, 2*

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ СВАЙ С ВОДОНАСЫЩЕННЫМ ГЛИНИСТЫМ ГРУНТОМ ПРИ ИХ ПОГРУЖЕНИИ ВДАВЛИВАНИЕМ

Статья посвящена исследованию взаимодействия свай с водонасыщенным глинистым грунтом при их погружении методом статического вдавливания. Приведены результаты натурных экспериментальных исследований изменений усилия вдавливания по глубине 38 двенадцатиметровых железобетонных призматических свай сечением 30×30 см, выполненных на объекте строительства в г. Томске. Проведено сопоставление экспериментальных данных с расчётными значениями усилия вдавливания, полученных по методике СП 24.13330.2011. Исследования показали, что фактические усилия вдавливания свай в водонасыщенных глинистых грунтах существенно меньше рассчитанных по СП24.13330.2011 (от 9 до 108 %), что приводит к необоснованным затратам энергии на устройство свайного поля и к увеличению стоимости этих работ.

Ключевые слова: усилие вдавливания свай; несущая способность; водонасыщенный глинистый грунт; взаимодействие свай с грунтом.

*SERGEI V. YUSHCHUBE, PhD, A/Professor,
sv@tsuab.ru*

*VLADISLAV A. SULIMA, Engineer,
s.v.a1982@mail.ru*

*ALEKSANDR A. TARASOV, Senior Lecturer,
tar.a.a@mail.ru*

*Tomsk State University of Architecture and Building,
2, Solyanaya Sq., 634003, Tomsk, Russia*

EXPERIMENTAL RESEARCH OF PILE INTERACTION IN WATER-DEPOSITED CLAY SOIL DURING INDENTATION

This article investigates the pile interaction in water-deposited clayey soil during their indentation. The results of field research concern the impressing force of 30×30 cm 38 reinforced concrete prismatic piles indented on the construction site in Tomsk. A comparison is given for the experimental and theoretical data obtained for the impressing force in accordance with SNiP 24.13330.2011. The investigations show that the actual impressing force in water-deposited clayey soil is significantly smaller than that calculated in accordance with SNiP (9–108 %). It leads to the inconsistent energy consumption due to the pile field organization and the increase of working costs.

Keywords: impressing force; bearing capacity; water-deposited clayey soil; soil-pile interaction.

В настоящее время всё большее признание получает способ погружения свай вдавливанием. Это связано как с увеличением объёмов строительства в условиях плотной городской застройки, где во многих случаях не допускается высокий уровень динамических, шумовых и других воздействий, так и с улучшением производительности сваевдавливающих машин. При этом для обеспечения высокой производительности и энергоэффективности погружения свай необходимо, в первую очередь, на стадии проектирования правильно назначать усилие вдавливания свай $F_{вд}$ применительно к конкретным грунтовым условиям.

Вопросам назначения усилия вдавливания свай в различные грунты посвящены работы как отечественных, так и зарубежных учёных [1–9], в которых приводятся различные методы его определения. Многие исследователи предлагают определять усилие вдавливания через несущую способность свай путём введения переходных коэффициентов. При этом, по данным различных авторов, эти коэффициенты разнятся в широком диапазоне – от 0,5 до 2,0.

Согласно ВСН 16–84 и РТМ 36.44.12,2–90, предельное усилие для вдавливания принимается с учётом коэффициента, равного 1,9 для песчаных и 1,4 для глинистых грунтов; ТСН 50-302–96 предписывает при определении предельного усилия вдавливания в глинистых грунтах вводить коэффициент, изменяемый от 0,55 до 1,1 в зависимости от показателя текучести I_L ; СП 45.13330.2012 и СП 24.13330.2011 при назначении предельного значения усилия вдавливания напрямую не учитывают грунтовые условия конкретных площадок, ограничиваясь введением коэффициентов, равных 1,2–1,5.

Следовательно, можно сделать вывод, что на сегодняшний день, несмотря на все более широкое использование метода статического вдавливания, нет единого мнения по назначению усилия вдавливания свай $F_{вд}$. Существующие нормативные документы могут служить лишь ориентиром, а определённые по ним значения усилия вдавливания, особенно в глинистых грунтах, существенно отличаются от фактических. Все это обуславливает актуальность дальнейших исследований взаимодействия свай с грунтом при их погружении методом вдавливания.

В этой связи авторами были проведены натурные экспериментальные исследования процесса вдавливания железобетонных призматических свай

сечением 30×30 см, длиной 12 м (всего 38 свай). Исследования проводились на объекте строительства в г. Томске.

Инженерно-геологический разрез экспериментальной площадки (рис. 1) весьма неоднороден и характеризуется до глубины 18,0–21,0 м аллювиальными суглинками мягкопластичными (ИГЭ-2 – $I_p = 12\%$, $I_L = 0,56$, $E = 10,0$ МПа, $e = 0,71$, $\varphi = 17$, $C = 20$ кПа, $S_r = 0,87$), супесями текучими (ИГЭ-3 – $I_p = 4\%$, $I_L > 1$, $E = 9$ МПа, $e = 0,65$, $\varphi = 20$, $C = 10$ кПа, $S_r = 0,92$), суглинками тугопластичными (ИГЭ-4 – $I_p = 10\%$, $I_L = 0,33$, $E = 13,0$ МПа, $e = 0,69$, $\varphi = 21$, $C = 24$ кПа, $S_r = 0,92$), подстилаемыми суглинками полутвердой консистенции (ИГЭ-5 – $I_p = 12\%$, $I_L = 0,18$, $E = 19,0$ МПа, $e = 0,58$, $\varphi = 24$, $C = 33$ кПа, $S_r = 0,80$). Сверху площадка перекрыта насыпными грунтами (ИГЭ-1) толщиной слоя 1,2–1,8 м. Горизонт подземных вод на период проведения испытаний установился на глубине 3,3–4,3 м от поверхности в супесях текучей.

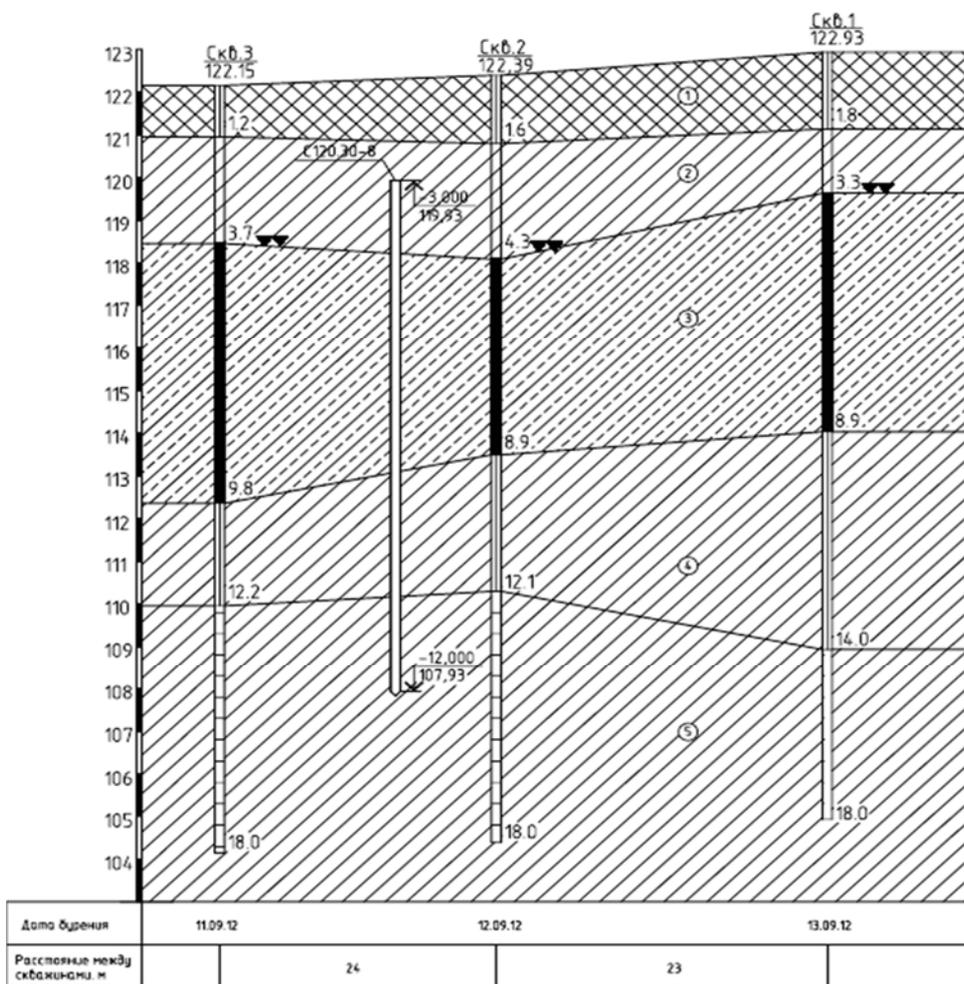


Рис. 1. Инженерно-геологический разрез экспериментальной площадки

Погружение свай на проектную отметку осуществлялось с отметки существующей планировки без предварительной разработки котлована гидравлической сваевдавливающей установкой SUNWARD ZYJ320B с применением металлического подбабка со средней скоростью погружения $V_{\text{вд}} = 2,4\text{--}4$ м/мин. Максимальное усилие вдавливания, зафиксированное при производстве работ, не превышало 480 кН (48 тс).

Измерение усилия вдавливания $F_{\text{вд}}$ производилось во время всего процесса погружения сваи с регистрацией значений через каждые 40 см. Для этого в гидравлическую систему сваевдавливающей установки был встроен электронно-механический гидротестер ГТ-400/240-1 [10], состоящий из блока датчиков температуры, давления и электронно-вычислительного блока с контроллером (рис. 2). В ходе погружения свай ГТ-400/240-1 в автоматическом режиме регистрировались такие параметры, как усилие вдавливания, глубина и время погружения. Полученные данные записывались на жёсткий диск ГТ-400/240-1 в виде зависимостей давления от глубины $P(H)$ и глубины от времени $H(t)$ с возможностью последующей их передачи для окончательной обработки на персональный компьютер. Для контроля полученных данных параллельно с ГТ-400/240-1 был установлен манометр МП4-УУХЛ1 (ТУ-25.02.180335–84). Сопоставление полученных данных показало хорошую сходимость результатов, полученных по гидротестеру ГТ-400/240-1 и манометру М4-УУХЛ1. Также в процессе погружения свай производилась видеофиксация с применением цифровой видеокамеры.

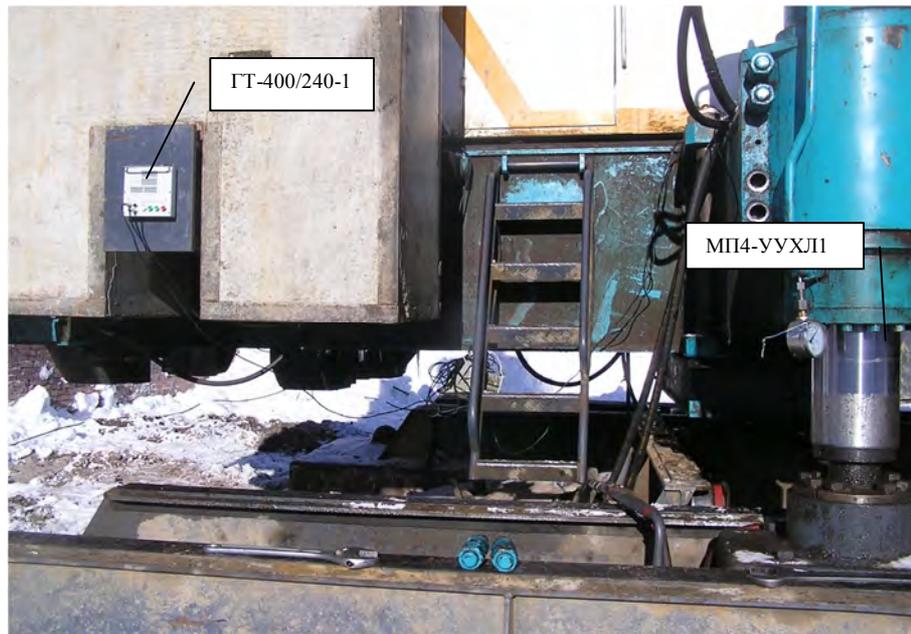


Рис. 2. Фрагмент сваевдавливающей установки

На рис. 3 приведены характерные графики изменения усилия вдавливания по глубине, полученные в ходе эксперимента, с привязкой к конкретным

инженерно-геологическим условиям. Анализ графиков показывает, что изменения усилия вдавливания $F_{вд}$ по глубине для всех свай имеют примерно одинаковый характер и фактически зависят не от глубины погружения, а только от вида грунта под их нижним концом. Следовательно, можно сделать вывод, что в рассматриваемых грунтовых условиях усилие вдавливания $F_{вд}$, прежде всего, определяется лобовым сопротивлением грунта под нижним концом сваи, а влияние трения грунта о боковую поверхность сваи на изменение усилия вдавливания является незначительным.

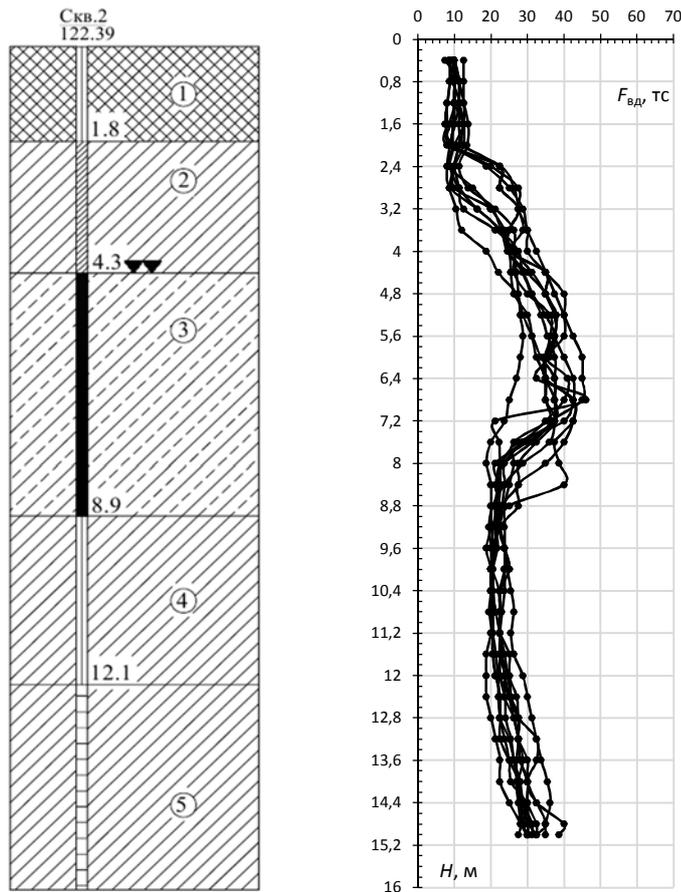


Рис. 3. Результаты экспериментальных исследований изменения усилия вдавливания $F_{вд}$ свай длиной 12 м по глубине

Причину такого изменения усилия вдавливания $F_{вд}$ можно объяснить следующим. При прохождении сваи через супеси текучие (ИГЭ-3: $I_p = 4\%$; $S_r = 0,92$) под её нижним концом образуется уплотнённое грунтовое ядро, препятствующее погружению сваи. По мере приближения нижнего конца сваи к слою суглинка тугопластичного (ИГЭ-4: $I_p = 10\%$; $S_r = 0,92$) рост размеров уплотнённой зоны прекращается и наблюдается снижение усилия вдавливания на 40–60 % от максимальных значений (рис. 3).

При прохождении сваи через суглинки тугопластичные (ИГЭ-4, отм. 8,9–12,1 м) рост вдавливающего усилия практически не происходит. В этом случае на сопротивление грунта вдавлыванию сваи значительное влияние оказывает избыточное давление в поровой воде, которое в рассматриваемых водонасыщенных глинистых грунтах рассеивается крайне медленно, а следовательно, усилие вдавливания будет определяться характеристиками грунта в нестабилизированном состоянии.

Таким образом, определение вдавливающего усилия в данных грунтовых условиях через несущую способность сваи (которая в пределах одного ИГЭ с глубиной постоянной растёт) не позволяет достоверно назначать как само усилие вдавливания, так и требуемые параметры сваевдавливательной машины. В подтверждение сказанного в таблице приведём результаты сопоставления усилия вдавливания, полученного экспериментально и по рекомендациям СП 24.13330.2011.

Сопоставление величин усилия вдавливания, полученных по результатам эксперимента и по методике СП.24.13330.2011

Глубина погружения, м	Усилие вдавливания $F_{вд}$, кН		Расхождение результатов, %
	Экспериментальные данные, кН	По методике СП.24.13330.2011, кН	
5	360	412,8	14,7
6	390	424,2	8,8
7	405	442,2	9,2
8	320	472,8	47,8
9	260	466,8	79,5
10	265	499,2	88,4
11	265	550,2	107,6
12	290	637,8	119,9
13	380	858	125,8
14	430	896,4	108,5

При этом несущая способность сваи была определена по результатам испытаний грунтов методом статического зондирования согласно ГОСТ 19912–2012. Из данных таблицы видно, что для ряда глинистых грунтов назначение усилия вдавливания через несущую способность сваи приводит к его завышению – от 8,8 до 108,5 %, следовательно, приводит к необоснованным затратам энергии на устройство свайного поля и к увеличению стоимости этих работ.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Бахолдин, Б.В. Исследование процесса погружения свай вдавливанием / Б.В. Бахолдин, Е.М. Перлей, Е.В. Светинский // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1997. – № 3. – С. 25–27.

2. Литвин, О.В. Технология погружения свай вдавливанием с помощью установки с вакуумным анкером : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Киев, 1991. – 20 с.
3. Фрейдман, Б.Г. Совершенствование технологии вдавливания свай и шпунта в условиях плотной застройки : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – СПб., 2002. – 22 с.
4. Швецов, В.М. О назначении усилия вдавливания свай / В.М. Швецов, Р.К. Ибрагимов // Реконструкция городов и геотехническое строительство. – 2004. – № 8 – С. 129–131.
5. Нестеров, А.С. Обоснование конструктивно-технологических параметров оборудования для погружения свай методом вдавливания (с применением анкерного устройства) : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Омск, 2008. – 21 с.
6. Буров, В.П. Исследование процесса погружения свай методом вдавливания с целью обоснования выбора оптимальных параметров сваевдавливающих установок : автореф. дис. ... канд. техн. наук. – Омск, 1969. – 21 с.
7. Коновалов, П.А. Основания и фундаменты реконструируемых зданий / П.А. Коновалов – М., 2000. – 316 с.
8. Полищук, А.И. Определение усилия вдавливания инъектора инъекционных свай в глинистых грунтах / А.И. Полищук, А.А. Тарасов, А.А. Петухов // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2013. – № 2. – С. 346–354.
9. Савинов, А.В. Применение свай, погружаемых вдавливанием, при реконструкции исторической застройки городов : автореф. дис. ... док. техн. наук. – Саратов, 2008.
10. Пат. 150616. Российская Федерация. Электромеханический гидротестер / Ларионов С.А. [и др.] ; опубл. 20.02.2015, Бюл. № 5.

REFERENS

1. Bakholdin, B.V., Perley E.M., Svehinskiy E.V. Issledovanie protsessa pogruzheniya svai vдавливaniem [A study of pile indentation process]. *Soil Mechanics and Foundation Engineering*. 1997. No 3. Pp. 25–27. (rus)
2. Litvin O.V. Tekhnologiya pogruzheniya svai vдавливaniem s pomoshch'yu ustanovki s vakuumnym ankerom : avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Pile indentation technology using vacuum anchor. PhD Thesis]. Kiev, 1991 (rus)
3. Freidman B.G. Sovershenstvovanie tekhnologii vдавливaniya svai i shpunta v usloviyakh plotnoi zastroiki : avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Improvement of pile indentation technology in urban conditions. PhD Thesis]. St-Petersburg, 2002(rus)
4. Shvetsov V.M., Ibragimov R.K. O naznachenii usiliya vдавливaniya svai [Pile indentation condition assignment]. *Rekonstruksiya gorodov i geotekhnicheskoe stroitel'stvo*. 2004. No. 8. Pp. 129–131. (rus)
5. Nesterov A.S. Obosnovanie konstruktivno-tekhnologicheskikh parametrov oborudovaniya dlya pogruzheniya svai metodom vдавливaniya (s primeneniem ankernogo ustroystva) : avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Substantiation of constructive-technological parameters of the equipment for immersion piles indentation method (with the use of anchor device). PhD Thesis]. Omsk, 2008. (rus)
6. Burov V.P. Issledovanie protsessa pogruzheniya svai metodom vдавливaniya s tsel'yu obosnovaniya vybora optimal'nykh parametrov svaevdavlivayushchikh ustanovok : avtoref. dis. ... kand. tekhn. nauk [Investigation of piles indentation process to establish optimum parameters of pile-indentation machines. PhD Thesis]. Omsk, 1969. (rus)
7. Konovalov P.A. Osnovaniya i fundamenty rekonstruiromykh zdaniy [Foundations of reconstructed buildings]. Moscow : VNIINTPI Publ., 2000. (rus)
8. Polishchuk A.I., Tarasov A.A., Petukhov A.A. Opredelenie usiliya vдавливaniya in"ektora in"ektsionnykh svai v glinistykh gruntakh [Determination of impressing force of pile injector in clay soils]. *Vestnik TSUAB*. 2013. No. 2. Pp. 346–354. (rus)
9. Savinov A.V. Primenenie svai, pogruzaemykh vдавливaniem, pri rekonstruktsii istoricheskoi zastroiki gorodov : avtoref. dis. ... dok. tekhn. nau [Pile indentation used for reconstruction of historical cities. DSc Thesis]. Saratov, 2008. (rus)
10. Larionov S.A., et.al. Elektromekhanicheskii gidrotester [Electromechanical hydraulic tester]. Pat. Rus. Fed. No. 150616, 2015. Bull. No. 5. (rus)