

Ляшенко П.А., Гохаев Д.В., Шмидт О.А. Оценка изменения деформационных характеристик глинистых грунтов в основании буронабивных свай при повторном нагружении // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2016. – Т. 7, № 4. – С. 123–132. DOI: 10.15593/2224-9826/2016.4.012

Liashenko P.A., Gokhaev D.V., Shmidt O.A. Estimation of changes in the deformation characteristics of clay soils in the bottom of bored piles under repeated loading. *PNRPU Bulletin. Construction and Architecture*. 2016. Vol. 7, no. 4. Pp. 123-132. DOI: 10.15593/2224-9826/2016.4.12



**ВЕСТНИК ПНИПУ.
СТРОИТЕЛЬСТВО И АРХИТЕКТУРА
Т. 7, № 3, 2016
PNRPU BULLETIN.
CONSTRUCTION AND ARCHITECTURE**
<http://vestnik.pstu.ru/arhit/about/inf/>



DOI: 10.15593/2224-9826/2016.4.12

УДК 624.13

ОЦЕНКА ИЗМЕНЕНИЯ ДЕФОРМАЦИОННЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ГЛИНИСТЫХ ГРУНТОВ В ОСНОВАНИИ БУРОНАБИВНЫХ СВАЙ ПРИ ПОВТОРНОМ НАГРУЖЕНИИ

П.А. Ляшенко, Д.В. Гохаев, О.А. Шмидт

Кубанский государственный аграрный университет, Краснодар, Россия

О СТАТЬЕ

Получена: 02 октября 2016
Принята: 21 октября 2016
Опубликована: 28 декабря 2016

Ключевые слова:

буронабивные сваи,
статические испытания,
повторное нагружение,
глинистые грунты,
модуль деформации

АННОТАЦИЯ

Объектом исследования являются буронабивные сваи, а также их совместная работа с глинистым грунтом. Проведен анализ полевых статических испытаний буронабивных свай, устроенных по технологии непрерывного полого шнека (НПШ), повторным нагружением. Буровые сваи были изготовлены диаметром 630 мм, длиной 23,5 м с опиранием нижнего конца на супесь мягкопластичную, плотную. Важной особенностью опытной площадки являлось косо залегание галечникового грунта с супесчаным заполнителем, очень прочного, распространенного вдоль боковой поверхности испытанных свай мощностью слоя от 4 до 15,2 м. Испытания свай проводились по методике государственного стандарта со ступенчатым увеличением вдавливающей силы в три цикла нагружения и последующей разгрузки. В результате были получены графики зависимости осадки от приложенной силы. В результате испытаний конечная осадка свай-близнецов варьировалась в больших пределах от 2 до 15 мм. Кроме того, при повторном нагружении приращение осадки имело значительно меньшее значение, чем при первом нагружении. По полученным графикам зависимости осадки от нагрузки определялся приведенный модуль деформации основания буровых свай на каждой стадии нагружения. В результате оценки изменения данной характеристики была отмечена зависимость, связанная со значительным увеличением приведенного модуля деформации при большем включении нижнего конца свай в работу за счет перемещений. Данный эффект предположительно связан с формированием уплотненного ядра в уровне нижнего конца свай, за счет которого увеличиваются деформационные характеристики основания свай.

© ПНИПУ

© **Ляшенко Павел Алексеевич** – кандидат технических наук, доцент, профессор, e-mail: lyseich1@yandex.ru.
Гохаев Денис Валерьевич – заведующий лабораторией, e-mail: gokhaev@mail.ru.
Шмидт Олег Александрович – старший преподаватель, e-mail: shmidtolog55@list.ru.

Pavel A. Liashenko – Ph.D. in Technical Sciences, Associate Professor, Professor, e-mail: lyseich1@yandex.ru.
Denis V. Gokhaev – Head of Laboratory, e-mail: gokhaev@mail.ru.
Oleg A. Shmidt – Senior Lecturer, e-mail: shmidtolog55@list.ru.

ESTIMATION OF CHANGES IN THE DEFORMATION CHARACTERISTICS OF CLAY SOILS IN THE BOTTOM OF BORED PILES UNDER REPEATED LOADING

P.A. Liashenko, D.V. Gokhaev, O.A. Shmidt

Kuban State Agrarian University, Krasnodar, Russian Federation

ARTICLE INFO

Received: 02 October 2016
Accepted: 21 October 2016
Published: 28 December 2016

Keywords:

bored piles, static loading,
repeated loading, clay soils,
deformation module

ABSTRACT

The objects of the study are bored piles and their joint work with clay soil. In this paper, an analysis of the field static tests of bored continuous flight auger technology (CFA) piles under repeated loading was made. Bored piles were made with diameter 630 mm, length 23,5 m. The pile's tip rested in the soft dense sandy loam. Oblique bedding pebbly loam with sandy filler, what was widespread along the side surface of the tested piles layer with capacity from 4 to 15,2 m, was important feature of the experimental area. The tests were carried out according to the procedure of piles state standard with a stepwise increase in the pinch force loading and subsequent three cycles unloading. The resulting plots were obtained by precipitation of the applied force. The final test result for total settlement of twin sludge piles was varied within wide limits of from 2 to 15 mm. Furthermore, increment of pile's settlement under repeated loading had significantly lower value than the first loading. Reduced modulus was determined by obtained diagram of settlement depending on the load at each loading stage for bored pile's foundation. Dependence, what was associated with a significant increase reduced deformation module with greater inclusion the pile's tip in the work due to displacement, was observed. This effect is presumably due to the formation of the densified core in the level of the pile's tip.

© PNRPU

При проектировании свайных фундаментов зданий и сооружений в настоящее время используются исходные данные об основании, полученные в результате выполнения инженерно-геологических изысканий, статического зондирования, а также статических испытаний свай. Однако все полученные данные в основном могут использоваться для этапа строительства здания и не могут прогнозировать изменение прочностных и деформационных характеристик грунтов в процессе его эксплуатации. При этом при проектировании объектов со специфическим режимом совместной работы основания с фундаментом (повторное, циклическое нагружение и др.) изменение физико-механических характеристик грунтов существенно влияет на техническое состояние зданий и сооружений. Например, неоднократно отмечаются [1] случаи выхода из строя резервуаров в результате неравномерной осадки основания непосредственно в процессе их эксплуатации. При изучении перемещений фундаментов резервуаров в ходе повторного и последующих циклов полного заполнения и разгрузки резервуаров отмечено, что величина осадки при первом и последующих нагружениях фундаментов значительно меняется. Данный эффект наблюдается как для фундаментов на естественном основании, так и для свайных фундаментов.

В настоящее время вопрос изменения характеристик сжимаемости основания фундаментов на естественном основании широко изучается, и существует несколько методов оценки изменения модуля деформации основания фундаментов в процессе их эксплуатации [2, 3]. Для определения изменения модуля деформации основания существующих зданий отбираются монолиты грунта непосредственно под фундаментом и проводятся лабораторные испытания. При этом оценить приведенным методом изменение характери-

стик сжимаемости в основании свайных фундаментов довольно трудно ввиду большой глубины заложения нижнего конца свай.

На сегодняшний день совместная работа буронабивных свай с грунтом при повторном нагружении изучается Н. Brandl, Ю.Л. Винниковым, В.И. Крутовым, В.Л. Сединым и другими исследователями [4–6]. В частности, при многочисленных статических испытаниях буронабивных свай-близнецов австрийским специалистом Н. Brandl [6] отмечено, что при втором и последующих циклах нагружения значительно уменьшается как величина осадки испытанных свай, так и неравномерность осадки в сравнении с результатами, полученными при испытании аналогичных моделей, нагруженных однократно, на той же площадке. Приведенные выводы согласуются с результатами испытаний буронабивных свай в пробитых скважинах [5], при которых также отмечается значительное уменьшение осадки при повторном нагружении. Однако в приведенных исследованиях эффект повторного нагружения описан в большей степени эмпирически и не предложена методика проведения статических испытаний для учета упрочнения основания, полученного при повторном нагружении свай.

Целью данной работы явилась оценка изменения деформационных характеристик основания буронабивных свай в процессе повторных нагружений при статических испытаниях.

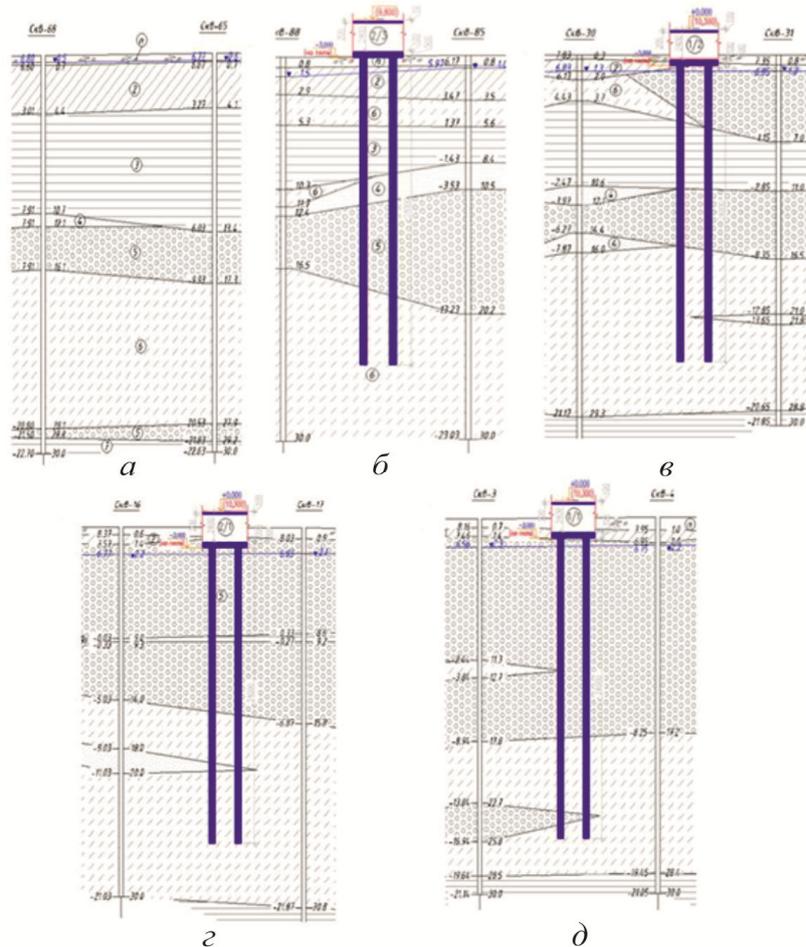


Рис. 1. Инженерно-геологические разрезы в местах испытаний буровых свай при повторных нагружениях [7]: а – свая № 8; б – свая № 3; в – свая № 13; г – свая № 23; д – свая № 18
Fig. 1. Geological sectional drawing in the places of static tests of bored piles under repeated loading

Статические испытания буровых свай при повторных нагрузениях проводились на производственной площадке в с. Веселое Адлерского района г. Сочи Краснодарского края. Инженерно-геологическое строение грунтов строительной площадки разведано до глубины 30 м. Важной особенностью геологического строения участка является наличие галечникового грунта с супесчаным пластичным заполнителем, очень прочного, насыщенного водой, который относится к классу природных дисперсных грунтов, группе несвязных, подгруппе осадочных, виду крупнообломочных. Толщина слоя галечникового грунта, распределенного вдоль боковой поверхности испытанных свай, варьировалась от 4 до 15,2 м [7]. Схемы расположения инженерно-геологических элементов в активной области основания буровых свай приведены на рис. 1.

Физико-механические характеристики инженерно-геологических элементов опытной площадки представлены в табл. 1.

Таблица 1

Грунтовые условия опытной площадки [7]

Table 1

Soil of experimental site [7]

Характеристика	Значение для грунтов					
	ИГЭ-2. Суглинок тяжелый тугопластичной консистенции, непросадочный, незасоленный, ненабухающий	ИГЭ-3. Глина легкая тугопластичной консистенции, непросадочная, незасоленная, ненабухающая	ИГЭ-4. Песок средней крупности, насыщенный водой	ИГЭ-5. Галечниковый грунт с супесчаным пластичным заполнителем, невыветрелый, очень прочный, насыщенный водой	ИГЭ-6. Супесь пластичная, непросадочная	ИГЭ-7. Глина тяжелая полутвердой консистенции, непросадочная, незасоленная, ненабухающая
Влажность в естественном состоянии, %	27,5	33,4	24,2	20,7	18,1	27,7
Плотность грунта, г/см ³	1,93	1,96	1,84	2,3	2,16	2,05
Коэффициент пористости	0,78	0,9	0,91	–	0,45	0,7
Показатель текучести	0,31	0,32	–	0,5	0,5	0,11
Угол внутреннего трения, град	18	17	35	27	21	20
Удельное сцепление, кПа	22	38	1	3	19	60
Компрессионный модуль деформации, МПа	6,7	4,6	32	35,6	10,1	9,8

Все опытные сваи для проведения статических испытаний были выполнены по технологии CFA длиной 23,5 м и диаметром 630 мм. Все они опирались нижним концом на супесь пластичную с показателем текучести $I_L = 0,5$. Всего в рамках программы было выполнено пять статических испытаний свай с повторным нагружением. Испытание вдавливающей нагрузкой производилось с учетом требований ГОСТ 5686–2012 «Грунты. Методы полевых испытаний сваями». Нагружение свай производилось с помощью гидравлических домкратов. Опорная конструкция для восприятия вертикальных реактивных сил

выполнялась в виде сварных стальных балок двутаврового сечения, закрепленных на арматурных выпусках анкерных свай (рис. 2). Значения нагрузки снимались по показаниям манометра ДМ 8008-ВУ-У2 и пересчитывались в тонно-силы по тарифовочному графику. Для определения осадки испытываемых свай использовались два прогибомера 6-ПАО, прикрепленные к независимой реперной системе. Для определения возможных перемещений опорной конструкции использовался нивелир.

Увеличение вдавливающего усилия, приложенного к испытываемым сваям, производилось ступенчато. Величина первых трех ступеней нагружения составляла 20 % от расчетной нагрузки, а всех последующих – 10 %. На каждой ступени нагружения натурной сваи снимались отсчеты по всем приборам для измерения деформаций в следующей последовательности: нулевой отсчет – перед нагружением сваи, первый отсчет – сразу после приложения нагрузки, затем последовательно через каждые 15 мин до условной стабилизации деформации (уменьшения скорости перемещения). За критерий условной стабилизации деформации принималась скорость осадки свай на данной ступени нагружения, не превышающая 0,1 мм за последние 60 мин наблюдений.



Рис. 2. Схема устройства опорной конструкции [7]
Fig. 2. Driving support structure [7]

Разгрузка сваи выполнялась после достижения наибольшей нагрузки ступенями, равными удвоенным значениям ступеней нагружения, с выдержкой каждой ступени не менее 15 мин. После полной разгрузки (до нуля) наблюдение за перемещением сваи проводилось в течение 60 мин, со снятием отсчетов через каждые 15 мин. Далее производились второй и третий циклы нагружения сваи по приведенной схеме. Результаты статических испытаний натурных буровых свай в три цикла нагружения приведены на рис. 3. Сравнение величин осадок на каждом цикле нагружения приведено в работе [8].

Для оценки изменения деформационных характеристик по результатам статических испытаний свай использовались конечная осадка свай и приведенный модуль деформации основания, рассчитываемый по формуле, предложенной И.З. Гольдфельдом [9]:

$$E_{\text{пр}} = \frac{(1 - \mu^2) N}{0,53 d L S} \quad (1)$$

При исследовании совместной работы свай с грунтом отмечается, что нижний конец в пределах эксплуатационных нагрузок работает в стадии уплотнения. Кроме того, согласно результатам исследований сопротивление по боковой поверхности достигает предельного значения при достаточно малых перемещениях [10, 11]. Соответственно, можно предполагать, что нижний конец буронабивной сваи в пределах эксплуатационных нагрузок работает как заглубленный штамп, и модуль деформации основания можно определять по формуле Шлейхера с учетом преобразований [см. формулу (1)], что подтверждается хорошей сходимостью результатов расчета с данными мониторинга осадок фундаментов зданий [9].

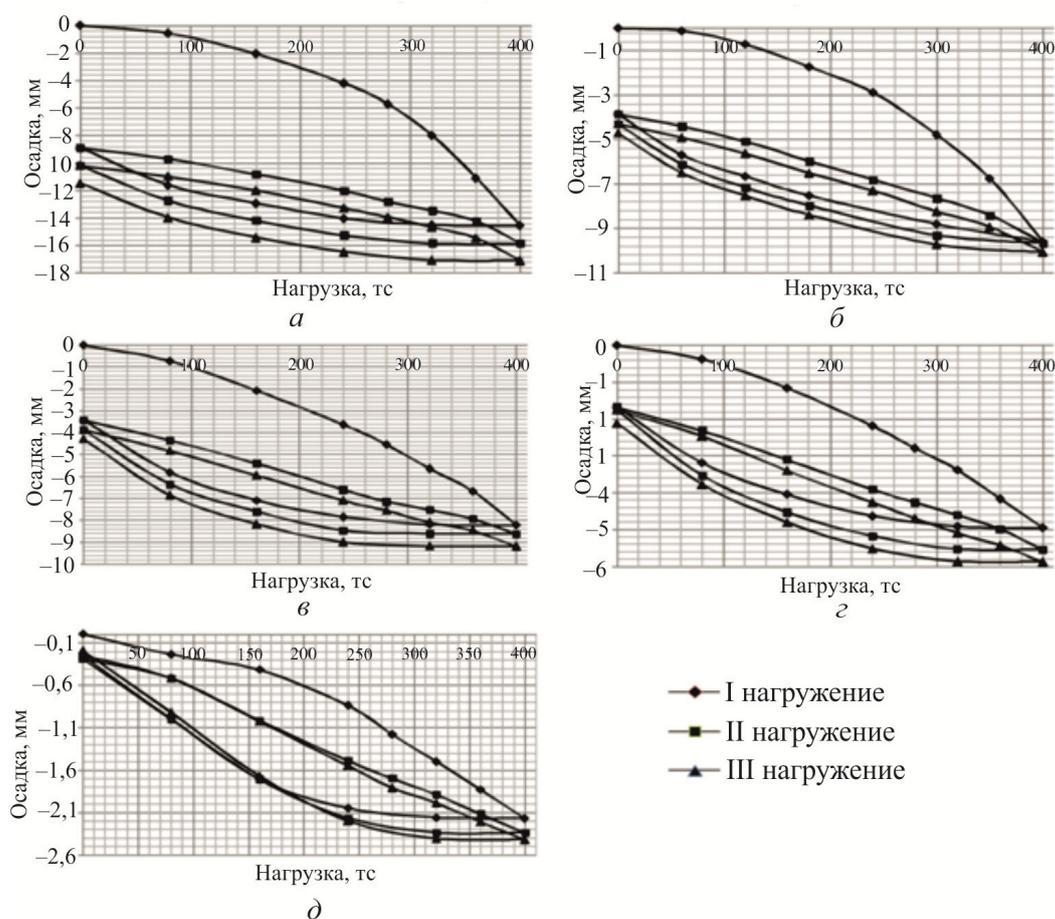


Рис. 3. Результаты статических испытаний свай при повторных нагружениях. Осадка свай: а – № 8; б – № 3; в – № 13; г – № 23; д – № 18

Fig. 3. The results of static tests of piles under repeated loading

Результаты изменения осадки в процессе статических испытаний свай, а также результаты определения приведенного модуля деформации приведены в табл. 2.

Анализируя результаты определения приведенного модуля деформации основания свай на первом и повторных нагружениях, можно сделать вывод о том, что увеличение деформационной характеристики грунтов имеет большее значение при увеличении осадки испытанной сваи (рис. 4).

Результаты оценки изменения деформационных характеристик
грунтов основания свай

Table 2

Results of evaluation of deformation characteristics of pile's soil foundation

Номер сваи	Осадка (на стадии нагружения), мм			Приведенный модуль деформации [9], МПа			Увеличение приведенного модуля деформации при повторном нагружении, %
	I нагружение	II нагружение	III нагружение	I нагружение	II нагружение	III нагружение	
8	14,54	6,94	6,91	58,9	75,6	75,8	28,7
3	9,62	5,81	5,75	70,8	83,1	83,2	17,4
13	8,63	5,18	5,32	71,4	83,1	89,1	16,4
23	4,96	3,87	4,11	111,5	120,7	114,0	8,3
18	2,17	2,05	2,17	226,6	226,3	213,8	0

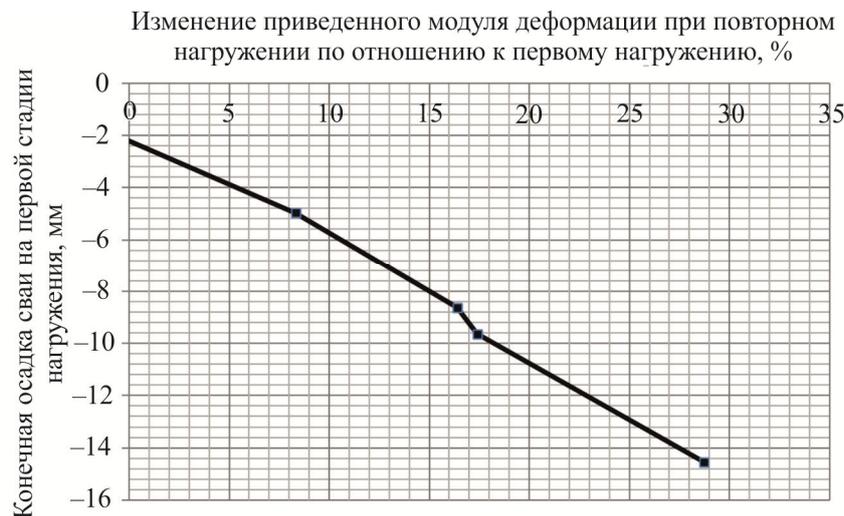


Рис. 4. График зависимости изменения приведенного модуля деформации при повторном нагружении от конечной осадки свай на первой стадии нагружения

Fig. 4. A plot of the change in the reduced modulus of deformation under repeated loading on the ultimate pile's settlement in the first loading stage

Анализируя результаты натуральных экспериментов с забивными сваями, М.Т. Davisson в 1972 г. установил аппроксимированную зависимость между диаметром (стороной) сваи и перемещением, необходимым для активного включения в работу сопротивления под нижним концом, выраженную в следующем виде [12]:

$$s_r = 3,8 + D / 120, \quad (2)$$

где s_r – перемещение сваи, мм; D – диаметр (сторона) поперечного сечения сваи, мм.

В 2009 г. W.M. NeSmith и T.C. Siegel, анализируя применимость критерия исчерпания несущей способности DOL для буровых свай, пришли к выводу, что приведенного

в формуле (2) перемещения оказывается недостаточно для активного включения сопротивления под нижним концом в работу [11].

Анализируя приведенные выше исследования, можно сделать вывод, что сопротивление вдавливанию под нижним концом буровых свай в начале испытаний мало и увеличивается по мере перемещений свай. Первоначально сопротивление свай вдавливанию обусловлено трением грунта о боковую поверхность свай. При этом лобовое сопротивление свай постоянно увеличивается, вплоть до исчерпания несущей способности. Учитывая зависимость между увеличением «приведенного» модуля деформации основания при повторном нагружении и конечной осадкой свай (см. рис. 4), можно предположить, что увеличение деформационных характеристик основания обусловлено образованием уплотненного ядра в активной области в уровне нижнего конца свай за счет перемещений. Эффект формирования уплотненного ядра в уровне нижнего конца буровых свай отмечался при моделировании нагружения опытных моделей свай статической нагрузкой [13, 14]. В данных работах отмечено увеличение плотности грунта в уровне нижнего конца моделей буровых свай, а также перемещение датчиков перемещений в активной области грунта.

В результате можно сделать следующие выводы:

- при повторном нагружении буровых свай их осадка значительно меньше, чем при первом нагружении;
- увеличение приведенного модуля деформации на втором и последующих циклах нагружения по отношению к первому циклу имеет большее значение при большем включении нижнего конца в работу за счет перемещений.

Библиографический список

1. Фундаменты стальных резервуаров и деформации их оснований / П.А. Коновалов [и др.]. – М.: АСВ, 2009. – 336 с.
2. Полищук А.И. Основы проектирования и устройства фундаментов реконструированных зданий. – 3-е изд., доп. – Нортхэмптон; Томск: СТТ, 2007. – 476 с.
3. Россихин Ю.В., Битайнис А.Г. Осадки строящихся сооружений / под ред. А.М. Скудры. – Рига: Рига Зинатне, 1980. – 339 с.
4. Седин В.Л., Винников Ю.Л., Бикус К.М. О влиянии повторных нагружений набивных свай в пробитых скважинах на деформативность их оснований // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2014. – № 3. – С. 112–120.
5. Крутов В.И., Танатаров Н.Т. Упрочнение оснований фундаментов в вытрамбованных котлованах путем их предварительной пригрузки // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 1990. – № 6. – С. 11–13.
6. Brandl H. Cyclic preloading of piles to minimize (differential) settlements of high-rise buildings // Slovak. – 2006. – P. 1–12.
7. Многоквартирные жилые дома для размещения временного персонала, волонтеров и сил безопасности, привлекаемых на период проведения XXII Зимних Олимпийских игр и XI Паралимпийских зимних игр 2014 г. в г. Сочи (проектные и изыскательские работы, строительство)» площадка № 2. Жилой квартал в селе Веселое Адлерского района города

Сочи по ул. Таврическая – Акаций: техн. отчет о статических испытаниях буронабивных свай на объекте. – Сочи, 2012. – 29 с.

8. Ляшенко П.А., Гохаев Д.В., Шмидт О.А. Исследование развития осадки буронабивной сваи в глинистых грунтах при повторном приложении статической нагрузки [Электронный ресурс] // Науч. журнал Кубан. гос. аграр. ун-та. – 2016. – № 120 (06). – URL: <http://ej.kubagro.ru/2016/06/pdf/104.pdf> (дата обращения: 10.08.2016).

9. Гольдфельд И.З., Смирнова Е.А. Графоаналитическая обработка результатов статических испытаний грунтов забивными сваями и зондированием // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2011. – № 5. – С. 35–40.

10. Корякин В.С. О роли пяты в общем сопротивлении буронабивных свай // Основания, фундаменты и механика грунтов: материалы III Всесоюз. совещ. – Киев: Будивельник, 1971. – С. 312–315.

11. NeSmith W., Siegel T. Shortcomings of the Davisson offset limit applied to axial compressive load tests on cast-in-place piles. Hawthorne: contemporary topics in deep foundations. – 2009. – P. 568–574. DOI: 10.1061/41021(335)71

12. Davisson M.T. High capacity piles // Proceedings, Lecture Series, Innovations in Foundation Construction, ASCE, Illinois Section. – 1972. – 52 p.

13. Глазачев А.О. Исследование взаимодействия вертикально нагруженных буронабивных свай с основанием и их расчет с использованием статического зондирования: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.02. – Пермь: Изд-во Перм. нац. исслед. политехн. ун-та, 2014. – 187 с.

14. Ляшенко П.А., Гохаев Д.В., Шмидт О.А. Исследование на модели развития осадки буронабивной сваи [Электронный ресурс] // Науч. журнал Кубан. гос. аграр. ун-та. – 2013. – № 90 (06). – URL: <http://ej.kubagro.ru/2013/06/pdf/09.pdf> (дата обращения: 11.08.2016).

References

1. Konovalov P.A. [et al.]. Fundamenty stal'nykh rezervuarov i deformatsii ikh osnovanii [Foundations steel tanks and deformation of their bases]. Moscow: ASV, 2009. 336 p.

2. Polishchuk A.I. Osnovy proektirovaniia i ustroistva fundamentov rekonstruirovannykh zdanii [Basics of designing devices and reconstructed buildings foundations]. Norkhempton; Tomsk: STT, 2007. 476 p.

3. Rossikhin Iu.V., Bitainis A.G. Osadki stroiashchikhsia sooruzhenii [Settlements of built structures]. Riga: Riga Zinatne, 1980. 339 p.

4. Sedin V.L., Vinnikov Iu.L., Bikus K.M. O vliianii povtornykh nagruzhenii nabivnykh svai v probitykh skvazhinakh na deformativnost' ikh osnovanii [Repeated loading effect on foundation distortion under filling piles cast in boreholes]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2014, no. 3, pp. 112-120.

5. Krutov V.I., Tanatarov N.T. Uprochnenie osnovanii fundamentov v vytrambovannykh kotlovanakh putem ikh predvaritel'noi prigruzki [Strengthening the foundations of bases in pits by their preloading]. *Osnovaniia, fundamenty i mekhanika gruntov*, 1990, no. 6, pp. 11-13.

6. Brandl H. Cyclic preloading of piles to minimize (differential) settlements of high-rise buildings. *Slovak*, 2006, pp. 1-12.

7. Mnogokvartirnye zhilye doma dlia razmeshcheniia vremennogo personala, volonterov i sil bezopasnosti, privlekaemykh na period provedeniia XXII Zimnikh Olimpiiskikh igr i XI Paralimpiiskikh zimnikh igr 2014 goda v gorode Cochi (proektnye i izyskatel'skie raboty, stroitel'stvo) ploshchadka № 2. Zhiloi kvartal v sele Veseloe Adlerskogo raiona goroda Sochi po ulitse Tavricheskaia – Akatsii [Apartment buildings to accommodate the temporary staff, volunteers and security forces involved in the period of the XXII Winter Olympic Games and XI Paralympic Games of 2014 in Sochi]. – Sochi, 2012. 29 p.

8. Liashenko P.A., Gokhaev D.V., Shmidt O.A. Issledovanie razvitiia osadki buronabivnoi svai v glinistykh gruntakh pri povtornom prilozhenii staticheskoi nagruzki [Research the filling pile's settlement in clay soils during repeated static loading]. *Nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2016, no. 120 (06), available at: <http://ej.kubagro.ru/2016/06/pdf/104.pdf> (accessed 10 August 2016).

9. Gol'dfel'd I.Z., Smirnova E.A. Grafoanaliticheskaia obrabotka rezul'tatov staticheskikh ispytaniy gruntov zabivnymi svaiami i zondiromaniem [The analysis of treatment static test results of soil precast piles and probing]. *Osnovaniia, fundamenty i mekhanika gruntov*, 2011, no. 5, pp. 35-40.

10. Koriakin V.S. O roli piaty v obshchem soprotivlenii buronabivnykh svai [About the role of the tip in the total resistance of bored piles]. *Materialy III Vsesoiuznogo soveshchaniia "Osnovaniia, fundamenty i mekhanika gruntov"*. Kiev: Budivel'nik, 1971, pp. 312-315.

11. NeSmith W., Siegel T. Shortcomings of the davisson offset limit applied to axial compressive load tests on cast-in-place piles. Hawthorne: contemporary topics in deep foundations, 2009, pp. 568-574. DOI: 10.1061/41021(335)71

12. Davisson M.T. High capacity piles. *Proceedings, Lecture Series, Innovations in Foundation Construction, ASCE, Illinois Section*, 1972. 52 p.

13. Glazachev A.O. Issledovanie vzaimodeistviia vertikal'no nagruzhennykh buronabivnykh svai s osnovaniem i ikh raschet s ispol'zovaniem staticheskogo zondiromaniia [Investigation of the interaction of vertically loaded bored piles with a base and their calculation with the use of static probing]. Perm': Permskii natsional'nyi issledovatel'skii politekhnicheskii universitet, 2014. 187 p.

14. Liashenko P.A., Gokhaev D.V., Shmidt O.A. Issledovanie na modeli razvitiia osadki buronabivnoi svai [The filling pile's settlement process investigation]. *Nauchnyi zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta*, 2013, no. 90 (06), available at: <http://ej.kubagro.ru/2013/06/pdf/09.pdf> (accessed 11 August 2016).