

ИССЛЕДОВАНИЯ НЕСУЩЕЙ СПОСОБНОСТИ НАТУРНОЙ МНОГОСЕКЦИОННОЙ СВАИ МЕТОДОМ «ONLY-DOWN»

Самородов А.В., Муляр Д.Л.

Харьковский национальный университет строительства и архитектуры
Табачников С.В.

Харьковский национальный университет городского хозяйства
им. А.Н. Бекетова
Герасимович Е.Н.

ООО «НПО «Регионспецпроект»
г. Харьков, Украина

АНОТАЦІЯ: Проведено критичний аналіз існуючого «методу зануреного домкрату» чи «методу Остерберга» у світовій практиці випробувань ґрунтів палями (баретами). Запропоновано удосконалений метод «ONLY-DOWN» випробування натурних багатосекційних паль, що дозволяє підвищити надійність процесу випробувань та точність визначення несучої здатності паль, що підтверджують проведені дослідження.

АННОТАЦИЯ: Проведен критический анализ существующего «метода погруженного домкрата» или «метода Остерберга» в мировой практике испытаний грунтов сваями (баретами). Предложен усовершенствованный метод «ONLY-DOWN» испытания натурных многосекционных свай, который позволяет повысить надежность процесса испытаний и точность определения величины несущей способности свай, что подтверждают проведенные исследования.

ABSTRACT: Critical analysis of the existing “embedded jack method” or “Osterberg method” in the world practice of testing soils using piles (barrettes) is described. An advanced «ONLY-DOWN» method is proposed for testing production multi-section piles, that allows increasing the reliability of the testing process and the accuracy of determining the pile load-bearing capacity, which is confirmed by conducted research.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: грунт, буровая свая, барета, испытания, метод, погруженный домкрат, Остерберг, нагрузка, несущая способность.

ВВЕДЕНИЕ

Современное многоэтажное и высотное строительство требует решения разноплановых геотехнических задач, связанных с проектированием конструктивно надежных и экономично обоснованных фундаментов, в том числе в сложных инженерно-геологических условиях. Высотные здания передают на грунтовое основание значительное давление, которое, как правило, способны воспринять более прочные и малосжимаемые его нижние слои, что обеспечивается применением фундаментов глубокого заложения, состоящих, в основном, из свай или барет (далее свай). Поэтому, вопрос назначения несущей способности свай является актуальным как для проектировщиков - в плане надежности принимаемых решений, так и для инвесторов - в экономическом аспекте.

АНАЛИЗ ПОСЛЕДНИХ ИССЛЕДОВАНИЙ И ПУБЛИКАЦИЙ

Как известно, полевые испытания натуральных свай вдавливающими нагрузками являются самым достоверным методом определения их фактической несущей способности. В этой области испытаний натуральных свай нормативным и самым распространенным является метод испытания грунтов сваями [1, 2], при котором к голове сваи прикладывается нагрузка с помощью стандартного гидравлического оборудования с применением контргрузов или разных конструкций анкерных систем (рис. 1). В процессе испытания грунтов сваями исследуют напряженно-деформированное состояние (НДС) системы «грунтовое основание – свая» с помощью как обычных манометров и прогибомеров, так и современных датчиков и оборудования, на основании чего по различным методикам определяют их несущую способность [3].

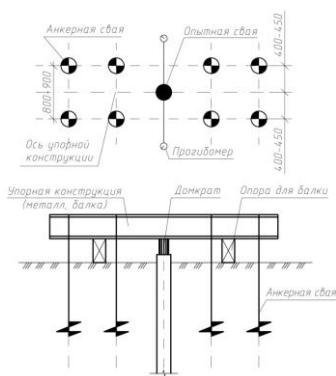


Рис. 1. Схема конструкции анкерной системы

При потенциально высоких значениях несущей способности свай (более 10000 кН=1000 тс) применение анкерной системы на поверхности является экономически нецелесообразным или вообще технически невозможным. Поэтому, в мире все чаще применяют так называемый «метод погруженного домкрата» или «метод Остерберга» [4-7], использование которого регламентируется американскими нормами [8]. Сущность «метода погруженного домкрата» состоит в том, что статическая нагрузка прикладывается не к голове сваи, а вдоль продольной оси ее конструкции на некоторой глубине с помощью одной (O-Cell) или нескольких (Multi-level O-Cell) гидравлических ячеек, что обеспечивает независимое движение одних частей сваи вверх, а других – вниз. То есть образуется самоуравновешенная испытательная система, которая не требует дополнительной «реактивной» системы на поверхности (рис. 2).

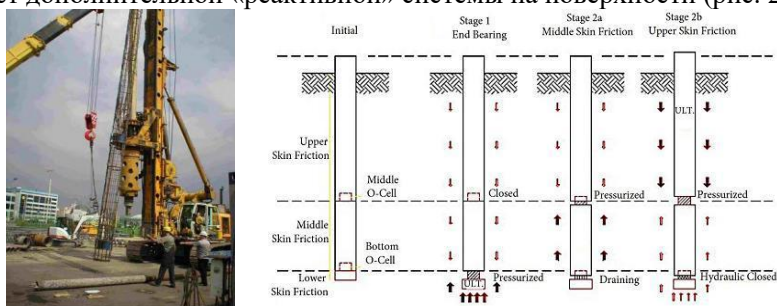


Рис. 2. Общий вид расположения силовых ячеек (Multi-level O-Cell) в каркасе сваи и схема ее испытания

Специальные конструкции гидравлических ячеек (O-Cell) с дополнительными датчиками, приборами и другим оборудованием, в том числе вдоль конструкции ствола сваи (рис. 3), позволяет исследовать напряженно-деформированное состояние системы «грунтовое основание – свая» в процессе испытаний (рис. 4), и после обработки результатов - назначать несущую способность сваи [9].



Рис. 3. Общий вид измерительного оборудования на поверхности в процессе испытания сваи

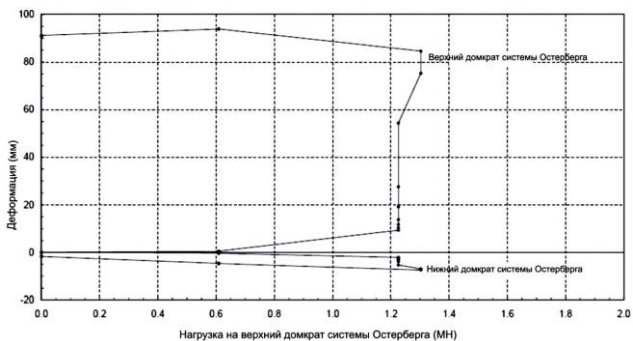


Рис. 4. Пример графиков зависимости деформаций сегментов сваи от нагрузки (потеря несущей способности по грунту верхнего сегмента при движении вверх)

Здесь следует отметить, что геотехниками общепринято называть «метод погруженного домкрата» именем американского ученого Остерберга (Osterberg Jorj O.), который, вероятно, впервые применил его для испытания двухсекционной буронабивной сваи с целью определения сил сопротивления по ее боковой поверхности и под нижним концом и опубликовал свою работу в 1984 году [4], а также запатентовал силовую ячейку O-Cell в 1986 году [5]. Однако, основная идея «погруженного домкрата» нашла свое практическое применение намного раньше в 1961 году как способ повышения несущей способности свай-оболочек при устройстве фундаментов глубокого заложения Маракайбского моста в Венесуэле, влияние которого с помощью многочисленных испытаний всесторонне изучал советский ученый, к.т.н. П.Г. Чижиков [10], где также косвенно фиксировались величина погружения нижней части плоских домкратов в основании сваи-оболочки и перемещение ее головы.

Однако, основная проблема «метода погруженного домкрата» состоит в том, что предполагается направление движения «вверх» верхней части сваи в процессе испытаний, что формирует иное НДС части системы «грунтовое основание – свая» в отличие от реального нагружения, которое прикладывается к голове сваи в процессе строительства и эксплуатации здания, что приводит к существенным ошибкам при определении общей величины несущей способности сваи на вдавливающие нагрузки в сторону ее занижения. Это доказано нашими последними лабораторными и полевыми исследованиями при испытаниях свай на действие вдавливающих и выдергивающих нагрузок [11, 12]. При этом нами установлено, что соотношение значений несущих способностей сваи за счет сил сопротивления по боковой поверхности при вдавливании $F_{d,f}$ и выдергивании $F_{du,f}$ находится в пределах $2,2 \leq F_{d,f}/F_{du,f} \leq 2,9$ в зависимости от

соотношений длины сваи к её диаметру L/d (рис. 5), что существенно отличается от нормативного соотношения $F_{d,f}/F_{du,f}=1,25$ [13].

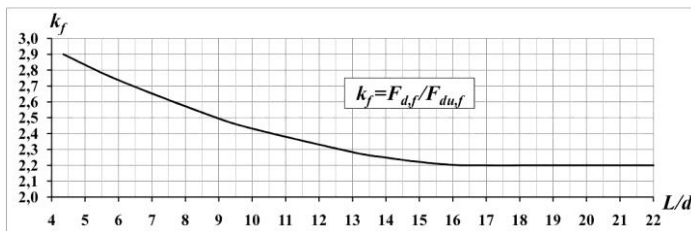


Рис. 5. График зависимости соотношения $k_f=F_{d,f}/F_{du,f}$ от L/d

Таким образом, направление вертикальной нагрузки является одним из основных факторов, влияющих на изменение напряженного состояния околосвайного массива грунта, и имеет принципиальное значение при определении несущей способности по боковой поверхности свай. Поэтому, несущая способность верхней части сваи, определяемая «методом погруженного домкрата», занижается минимум в 2,2 раза при прочих равных условиях.

Более того, расположение одной (One-level O-Cell) или нескольких (Multi-level O-Cell) силовых ячеек Остерберга (см. рис. 2) создает проблему обеспечения самоуравновешенной системы (соотношение несущей способности отдельных элементов системы) в связи с невыдержанностью слоев грунта, отклонениями их физико-механических характеристик и допущениями в предварительных расчетах, что не всегда позволяет обеспечить правильное соотношение несущих способностей элементов сваи и снижает надежность испытаний [14].

Для устранения вышеперечисленных недостатков классического «метода погруженного домкрата» предлагается усовершенствованный метод «ONLY-DOWN» испытания грунтов многосекционной сваей [15], при котором сначала передается часть ожидаемой полной опытной нагрузки к голове сваи (классический метод) за счет наличия анкерной системы на поверхности, а другая часть нагрузки - передается вдоль оси конструкции сваи на разных уровнях по глубине с помощью погруженных домкратов.

На рис. 6 приведена принципиальная схема метода испытаний натурной многосекционной сваи 1, которая разбита на секции длиной 2, 3 и 4, между которыми заложены специальные силовые ячейки с домкратами 5, а на поверхности предусмотрена анкерная система 6 любой конструкции

для возможности передачи нагрузки с помощью домкрата 7 к голове сваи в направлении 8.

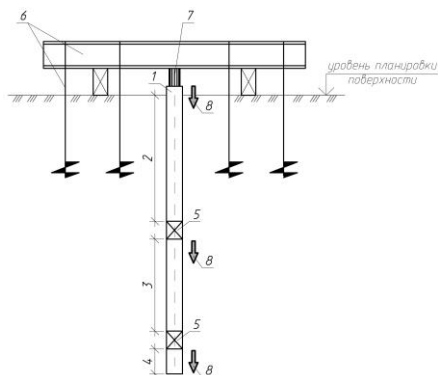


Рис. 6. Принципиальная схема метода «ONLY-DOWN» испытания грунтов многосекционной свай

Сущность усовершенствованного метода «ONLY-DOWN» состоит в том, что любой испытуемый сегмент сваи, к которому прикладывается нагрузка, движется только вниз. Это позволяет обеспечить контролируемую реакцию в системе на каждом этапе испытаний и сформировать максимально адекватное взаимодействие каждой части боковой поверхности исследуемой сваи с грунтовым массивом для определения ее несущей способности именно на вдавливающие нагрузки.

Применение данного метода испытания многосекционных свай позволяет повысить надежность самого процесса испытания, а также точность определяемой величины несущей способности сваи на действие вдавливающих нагрузок.

Цель работы - провести полевые испытания двух натурных свай в одинаковых геологических условиях традиционным методом и предлагаемым запатентованным методом «ONLY-DOWN» для сравнения результатов и теоретических предпосылок, а также подтверждения адекватности применения метода «ONLY-DOWN» при испытании свай повышенной несущей способности на действие вдавливающих нагрузок.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Испытания свай были проведены на площадке строительства жилых домов по ул. Студенческой, 21А в г. Харькове [16], застройщиком которой является – ПАО «Трест Жилстрой-1». Для сравнения были испытаны две

опытные буронабивные сваи ОБнС1 и ОБнС2 диаметром $\text{Ø}650\text{мм}$ на вдавливающую нагрузку с использованием стэнда анкерного СА-600 (рис. 7):

ОБнС1 длиной $L=12,0$ м – стандартным методом приложения всей нагрузки к голове сваи [1];

ОБнС2 длиной $L\approx l_1+l_2\approx 12,0\text{м}$ – методом «ONLY-DOWN» приложения нагрузки к верхней и нижней частям сваи [15].



Рис. 7. Стэнд анкерный СА-600

При этом опытная свая ОБнС2 была оборудована специальной силовой ячейкой грузоподъемностью 1200 кН (рис. 8), разделяя тело сваи на верхнюю секцию длиной $l_1\approx 7,5$ м и нижнюю – длиной $l_2\approx 4,0$ м (рис. 8).



Рис. 8. Специальная конструкция силовой ячейки в каркасе верхней секции сваи

На рис. 9 представлена схема расположения свай на инженерно-геологическом разрезе и направление вертикальных нагрузок.

Основанием опытных свай служат пески мелкие, плотные. Глубина погружения свай в несущий слой составляет $\approx 0,5$ м. Испытание сваи ОБнС1 проводилось до исчерпания несущей способности грунта – «срыва»

сваи. Испытание сваи ОБнС2 проводилось в два этапа. Сначала испытывалась верхняя секция длиной l_1 , а после - нижняя секция длиной l_2 . Обе секции также были испытаны до «срыва».

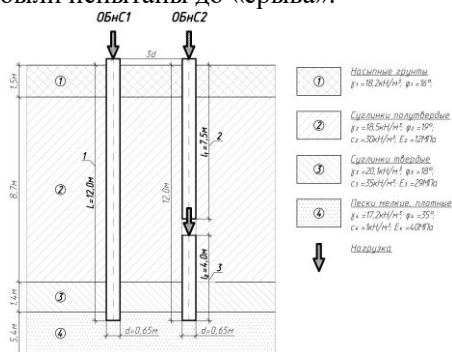


Рис. 9. Схема расположение свай в грунтовом массиве и действующие на них нагрузки: 1 – опытная свая ОБнС1; 2 – верхняя секция опытной сваи ОБнС2; 3 – нижняя секция опытной сваи ОБнС2

Нагружение верхней секции l_1 опытной сваи ОБнС2 выполнялось стандартным способом при помощи гидравлических домкратов, усилие от которых воспринималось анкерными сваями. Осадки (перемещение) головы сваи измерялись при помощи прогибомеров типа БПАО с ценой деления 0,01 мм, располагаемых симметрично относительно опытной сваи (рис. 10, а).

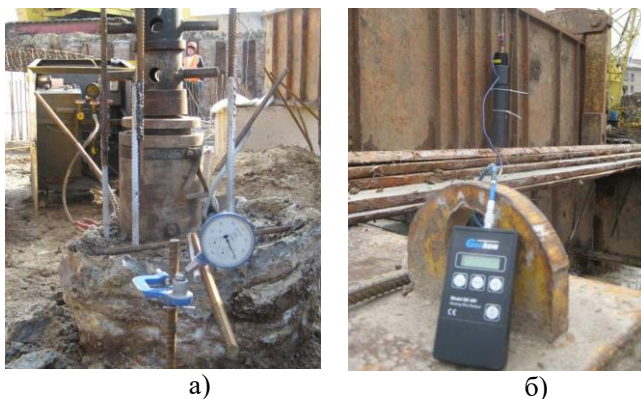


Рис. 10. Определение осадок двухсекционной сваи ОБнС2 от нагрузок:
 а) верхней части сваи с помощью прогибомеров типа БПАО;
 б) нижней части с помощью экстензометра модели 1150(А-3) и прибора модели ГК-404 для считывания показаний струнных датчиков

Нагружение нижней секции l_2 опытной сваи ОБНС2 выполнялось при помощи специальной конструкции силовой ячейки. Осадки нижней секции сваи ОБНС2 измерялись при помощи экстензометра модели 1150(A-3) (The Model 1150(A-3) Multiple Point Rod Extensometer) с использованием струнного датчика перемещений модели 4450-1-25 MN (The Model 4450-1-25 MN Wire Displacement Transducer) с диапазоном перемещений 25мм и прибора модели GK-404 для считывания показаний струнных датчиков (The Model GK-404 Vibrating Wire Readout) (рис. 10, б).

По результатам двух этапов испытания сваи ОБНС2 простым суммированием вдавливающих нагрузок при равных деформациях верхней и нижней секций была получена общая зависимость осадки сваи от нагрузки (рис. 11).

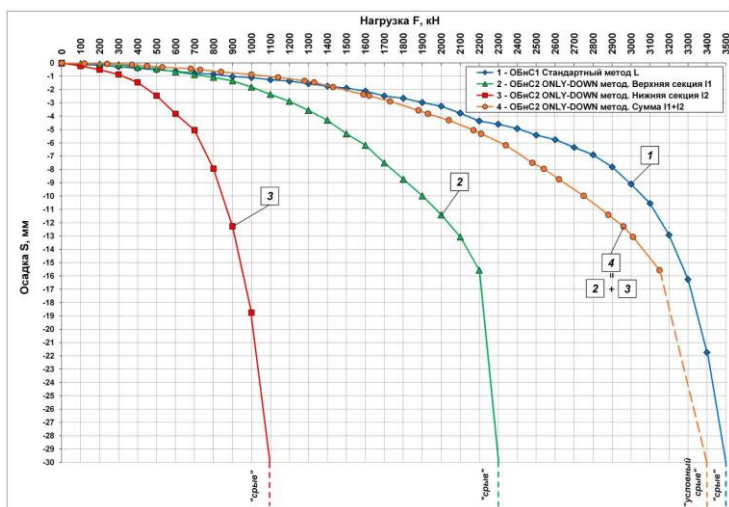


Рис. 11. Графики зависимости вертикальных деформаций S свай и их частей от вдавливающей нагрузки F

На рис. 11 графически представлены результаты «поведения» свай, испытанных на вдавливающие нагрузки двумя методами.

Из графика рис. 11 видно, что при испытании двухсекционной сваи методом «ONLY-DOWN» полученная суммарная зависимость осадок сваи от нагрузки близка к зависимости при испытании стандартным методом приложения общей нагрузки к голове сваи, а разница предельных нагрузок для 2-х свай составила 100кН, что в данном случае не превышает 5%.

ВЫВОДЫ

Проведен критический анализ существующего «метода погруженного домкрата» или «метода Остерберга» в мировой практике испытаний грунтов сваями (баретами) значительной несущей способности на действие вдавливающих нагрузок а так же предложен усовершенствованный метод «ONLY-DOWN» испытания натурных многосекционных свай, который позволяет повысить надежность процесса испытаний и точность определения величины несущей способности свай на вдавливающие нагрузки.

Сравнение результатов испытания двухсекционной сваи методом «ONLY-DOWN» с традиционным методом приложения нагрузки к голове сваи показывает достаточно точное их совпадение, что подтверждает адекватность применения метода «ONLY-DOWN» при испытании свай повышенной несущей способности на действие вдавливающих нагрузок.

ЛИТЕРАТУРА

1. Основи та підвалини будинків і споруд. Грунти. Методи польових випробувань палями: ДСТУ Б В.2.1-1-95 (ГОСТ 5686-94). - [Чинний від 1996-01-01]. - Київ: Укрархбудінформ, 1997. – 58 с. – (Державний стандарт України).
2. Грунты. Методы полевых испытаний сваями: ГОСТ 5686-2012. – [Действующий от 2013-07-01]. – М.: Стандартиформ, 2014. – 42 с.
3. Палі. Визначення несучої здатності за результатами польових випробувань: ДСТУ Б В.2.1-27:2010. – [Чинний від 2011-07-01]. – Київ: Мінрегіонбуд України, 2011. – 11 с. - (Державний стандарт України).
4. Osterberg, J.O., (1984). A New Simplified Method for Load Testing Drilled Shafts, FOUNDATION DRILLING, Vol. XXIII, No. 6 (July/August, 1984), ADSC, p.9.
5. Patent US4614110 (A), United State. E02D1/02, E02D33/00, G01L5/00. Device for testing the load-bearing capacity of concrete-filled earthen shafts (Osterberg Jorj O.). – 30.09.1986.
6. Osterberg J.O. New Device for Load Testing Driven Piles and Drilled Shafts Separates Friction and End Bearing // Proceedings: International Conference on Piling and Deep Foundations, London, A. A. Balkema. 1989. Pp. 421.
7. Катценбах Р. Методика испытаний буронабивных свай повышенной несущей способности по системе Остенберга / Р. Катценбах, Р.А. Дунаевский, А.А. Франивсющ // Профессиональная информация. – К.: Ярострой, 2011. – 4 с.
8. ASTM D1143M-07 Standard Test Methods for Deep Foundations Under Static Axial Compressive Load., ASTM International. 2007. 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.

9. Report of bored pile load testing (Osterberg method) B-30 – Solomenka Project, Kiev, Ukraine (LT-2505) / LOADTEST International Inc. (HQ), 2007. – 68 p.
10. Чижи́ков П.Г. О способах увеличения несущей способности оболочек по грунту / П.Г. Чижи́ков // Исследование несущей способности оснований и фундаментов глубокого заложения: Труды Всесоюзного научно-исследовательского института транспортного строительства. – Вып. 78 / Под общей редакцией канд. техн. наук Н.М. Глотова. – М.: Транспорт, 1971. – С. 32-46.
11. Самородов А.В. Полевые исследования несущей способности буронабивных свай при действии выдергивающих и вдавливающих нагрузок / А.В. Самородов, С.В. Табачников // Галузеве машинобудування, будівництво: зб. наук. праць. – Вип. 4 (34). Т1. – 2012. – С. 258-264.
12. Самородов А.В. Новый метод определения сил сопротивления по боковой поверхности свай, учитывающий направление вертикальной нагрузки / А.В. Самородов, С.В. Табачников // Основания, фундаменты и механика грунтов. – Вып. 6. – Москва: ОФМГ, 2015. – С. 12-15.
13. Основи та фундаменти споруд. Зміна №1: ДБН В.2.1–10–2009. – [Чинний від 2011–07–01]. – К.: Мінрегіонбуд України, 2011. – 55 с. – (Будівельні норми України).
14. Корнієнко М.В. Про особливості використання методу Остерберга при випробуванні палі великого діаметра / М.В. Корнієнко, С.О. Дворнік, І.Ю. Заварзіна // Галузеве машинобудування, будівництво: зб. наук. праць. – Вип. 4 (34). - Т2 – 2012. - ПолтНТУ. – С. 115-122.
15. Заявка на патент № а 2015 05298. Метод випробувань ґрунтів палями (Самородов О.В., Герасимович Є.М., Муляр Д.Л.). – заявл. 29.05.2015.
16. Исследование несущей способности четырех натурных буронабивных свай вертикальной вдавливающей статической нагрузкой на площадке строительства жилых домов по ул. Студенческой, 21А в г. Харькове: научно-технический отчет / ООО «НПО «Регионспецпроект»; отв. исполн.: к.т.н. Самородов А.В. – Харьков, 2016. – 45 с.

REFERENCES

1. Soils. Field test methods by piles: DSTU B V.2.1-1-95. – [Valid from 1994–11–17]. – К.: Ukrarhбудinform, 1997. – 58 p. – (State Standard of Ukraine).
2. Soils. Field test methods by piles: GOST 5686-2012. – [Valid from 2013–07–01]. – М.: StandartinForm, 2014. –42 p. – (State Standard of Russia).
3. Piles. Determination of the load-bearing capacity according to the results of field tests: DSTU B V.2.1-27: 2010. – [Valid from 2011–07–01]. – К.: Minregionbud of Ukraine, 2011. – 11 p. – (State Standard of Ukraine).
4. Osterberg, J.O., (1984). A New Simplified Method for Load Testing Drilled Shafts. FOUNDATION DRILLING, Vol. XXIII, No. 6 (July/August, 1984), ADSC, Pp.9.

5. Patent US4614110 (A), United State. E02D1/02, E02D33/00, G01L5/00. Device for testing the load-bearing capacity of concrete-filled earthen shafts (Osterberg Jorj O.). – 30.09.1986.
6. Osterberg, J.O. (1989). New Device for Load Testing Driven Piles and Drilled Shafts Separates Friction and End Bearing. Proceedings: International Conference on Piling and Deep Foundations, London, A. A. Balkema. Pp. 421.
7. Katzenbach, R., Dunaevsky, P. A., Franivsyusch, A. A. (2011). Test method of bored piles of increased carrying capacity according to Osterberg system. Professionalnaya informatsiya. Yaros Story. Pp. 4.
8. ASTM D1143M-07 Standard Test Methods for Deep Foundations Under Static Axial Compressive Load., ASTM International. 2007. 100 Barr Harbor Drive, PO Box C700, West Conshohocken, PA 19428-2959, United States.
9. Report of bored pile load testing (Osterberg method) B-30 – Solomenka Project, Kiev, Ukraine (LT-2505) / LOADTEST International Inc. (HQ), 2007. – 68 p.
10. Chizhikov, P.G. On the methods of increasing the load-bearing capacity of the shells for the soil / P.G. Chizhikov// Research on the load-bearing capacity of bases foundations and deep foundations: Proceedings of the All-Union Scientific Research Institute of Transport Construction. - Vol. 78 / Edited by Candidate. tehn. Sciences N.M. Glotov. - M.: Transport, 1971. - P. 32-46.
11. Samorodov, A.V., Tabachnikov, S.V. (2012). Field studies of the load-bearing capacity of CFA piles under the action of pull out and pressing-in loads. Collection of research papers (industrial engineering, construction), Ed. 4 (34), T1, 258-264.
12. Samorodov, A.V., Tabachnikov, S.V. (2015). A new method for determining the resistance forces along the lateral surface of the piles in terms of the direction of the vertical load. Bases, Foundations and Soil Mechanics, Vol. 6, 12-15.
13. Bases and Foundations for Structures. Zmina No.1: DBN V.2.1-10-2009. – [Valid from 2011–07–01]. – K.: Minregionbud of Ukraine, 2011. – 55 p. – (State building codes).
14. Kornienko, M.V., Dvornik, S.A., Zavarzinf, I.Yu. (2012). On peculiarities of using the Osterberg method when testing large-diameter piles. Collection of research papers (industrial engineering, construction), Vol. 4 (34), T2, 115-122.
15. Application for a patent, No. a 2015 05298. METHOD OF TESTING SOIL USING PILES (Samorodov O.V., Gerasimovich Ye.M, Mulyar D.L.). Appl. 05/29/2015.
16. Investigation of the load-bearing capacity of four production bored piles by vertical pressing-in static load on the construction site of residential buildings located in Kharkov, 21A Studencheskaya street: Research and technical report / OOO “NPO “Regionspetsproekt”; executive officer: Samorodov A.V., Cand. of Technical Sciences, Kharkov, 2016. – 45 p.

Статья поступила в редакцию 20.07.2016 г.