



DOI: 10.15593/2224-9826/2018.2.13  
УДК 624.154

## **СПОСОБЫ ИСПЫТАНИЙ СВАЙ В СУЩЕСТВУЮЩИХ ФУНДАМЕНТАХ ПЕРЕД РЕКОНСТРУКЦИЕЙ ЗДАНИЙ**

**Ю.В. Саенко**

Северный (Арктический) федеральный университет имени М.В. Ломоносова, Архангельск, Россия

### **О СТАТЬЕ**

Получена: 20 февраля 2017  
Принята: 03 апреля 2018  
Опубликована: 29 июня 2018

#### *Ключевые слова:*

статические испытания свай, фундаменты существующих зданий, несущая способность свай.

### **АННОТАЦИЯ**

Приведено описание разработанных способов испытания свай в составе фундаментов существующих зданий.

Первый способ испытаний позволяет сохранить сформировавшееся за время эксплуатации здания напряженно-деформируемое состояние вмещающего сваю массива грунта и тем самым повысить достоверность определения несущей способности. Это достигается тем, что со стороны противоположных углов поперечного сечения ствола сваи поочередно выполняют две прорези, в каждую из которых устанавливают домкраты, перерезают арматуру, размещенную в двух других углах поперечного сечения ствола, а отделение сваи от ростверка выполняют за счет растяжения оставшегося бетонного сечения ствола сваи при начале статического нагружения. В ходе испытаний предельное сопротивление сваи, испытанной по предложенному способу, оказалось от 5 до 7,1 % больше, чем для свай, испытанных по ГОСТ 5686–2012.

Второй способ учитывает влияние смежных свай на испытываемую. Это достигается тем, что перед отделением сваи от ростверка на испытываемую и смежные сваи устанавливают приборы для измерения деформаций – экстензометры, с помощью которых в ходе испытания регистрируют изменение напряженного состояния стволов свай, благодаря чему оценивается наличие и величина влияния смежных свай на испытываемую. Кроме того, в ходе испытаний определяют фактическую нагрузку, действующую на испытываемую сваю в составе фундамента, что является необходимым условием разработки проекта реконструкции сооружения.

Предложенные способы статических испытаний свай в фундаментах существующих зданий могут быть использованы при проведении обследования для разработки проектов по реконструкции и техническому перевооружению существующих зданий.

© ПНИПУ

## PILE TESTING METHODS PRIOR TO RECONSTRUCTION OF BUILDINGS

Y.V. Saenko

Northern (Arctic) Federal University named after M.V. Lomonosov, Arkhangelsk, Russian Federation

---

### ARTICLE INFO

Received: 20 February 2017

Accepted: 03 April 2018

Published: 29 June 2018

#### Keywords:

pile load test, foundations  
of operated buildings,  
bearing capacity of a pile.

### ABSTRACT

This article presents the methods developed to test piles located in buildings under operation.

The first testing method allows preserving the stress-strain state of the soil containing a pile, which has been formed during the operation of a building, thus increasing the reliability of the pile load testing. It is achieved by making two notches at opposite corners of the pile shaft, a hydraulic jack is installed in each notch, the reinforcement in two other corners of the pile shaft is cut, and the pile is separated from the pile cap by the tension of the remaining part of the pile shaft at the start of static loading. During the test, the bearing capacity of the pile, which was tested using the proposed method, was from 5 % to 7,1 % greater than the one of the piles tested according to GOST 5686-2012.

The second testing method takes into account the influence of the adjacent piles on the tested one. It is achieved by installing deformation measuring devices (extensometers) on the tested and adjacent piles before separating the pile from the cap, which makes it possible to measure the changes of the strain state of the pile shaft during the test, as well as to determine the influence of the adjacent piles on the tested one. Also, the tests determine the actual load influencing the tested foundation pile, which is obligatory, when it comes to developing an engineering design of a reconstruction project.

The proposed methods of the static load testing in operated buildings can be used for investigations prior to reconstruction and technical upgrades of operated buildings.

© PNRPU

---

## Введение

В условиях технического перевооружения и реконструкции зданий несущую способность свай, как правило, определяют путем статического нагружения, для чего верхнюю часть исследуемых свай поочередно срезают, между ними и ростверком устанавливают домкрат и выполняют нагружение статической вдавливающей нагрузкой с измерением осадки.

В работе А.М. Дзагова [1] даны предложения по совершенствованию действующих нормативных документов испытаний свай статической нагрузкой<sup>1</sup>. Рекомендуемые меры связаны с увеличением числа регистрирующих устройств. Автор предлагает устанавливать дополнительный динамометр между домкратом и упорным устройством, а для измерения осадки сваи закреплять третий прогибомер. Наиболее совершенный способ представлен в НИИОСП им. Н.М. Герсеванова [2]. Он предусматривает непрерывное с момента отрывки фундамента измерение перемещений ростверка и сваи и прекращение испытаний с учетом их деформаций.

При этом ряд факторов, влияющих на результаты испытаний в фундаментах существующих зданий, часто не принимается во внимание. В частности, в результате срезки свая перемещается вверх, вследствие чего повторное ее нагружение домкратом происходит при измененном напряженно-деформированном состоянии околосвайного грунта.

Кроме того, вокруг свай образуются зоны уплотнения грунта вокруг боковой поверхности ствола и под его нижним концом [3–6]. В зависимости от расстояния между сваями и вида вмещающего их грунта взаимодействие указанных зон может приводить как к рос-

<sup>1</sup> ГОСТ 5686–2012. Грунты. Методы полевых испытаний сваями. Введ. 2013–07–01. М.: Стандартинформ, 2014. – 42 с.

ту, так и к снижению несущей способности свай в составе фундамента по сравнению с несущей способностью одиночной сваи<sup>2</sup> [7]. Исследования для решения этих проблем выполнялись в ограниченном объеме.

## 1. Способ испытания свай без снятия с них действующей нагрузки

Определение несущей способности свай в фундаментах существующих зданий путем статических испытаний без снятия с них действующей нагрузки обусловлено в первую очередь необходимостью сохранить сформировавшееся за время эксплуатации фундамента напряженно-деформированное состояние вмещающего грунта сваю. Кроме того, при обследовании зданий, особенно претерпевших деформации, иногда вывести из работы сваю не представляется возможным. Проблемой является также срезка одной из трех свай в кусте и др.

На предложенный способ, в котором испытываемая свая не исключается из работы, получен патент на изобретение [8].

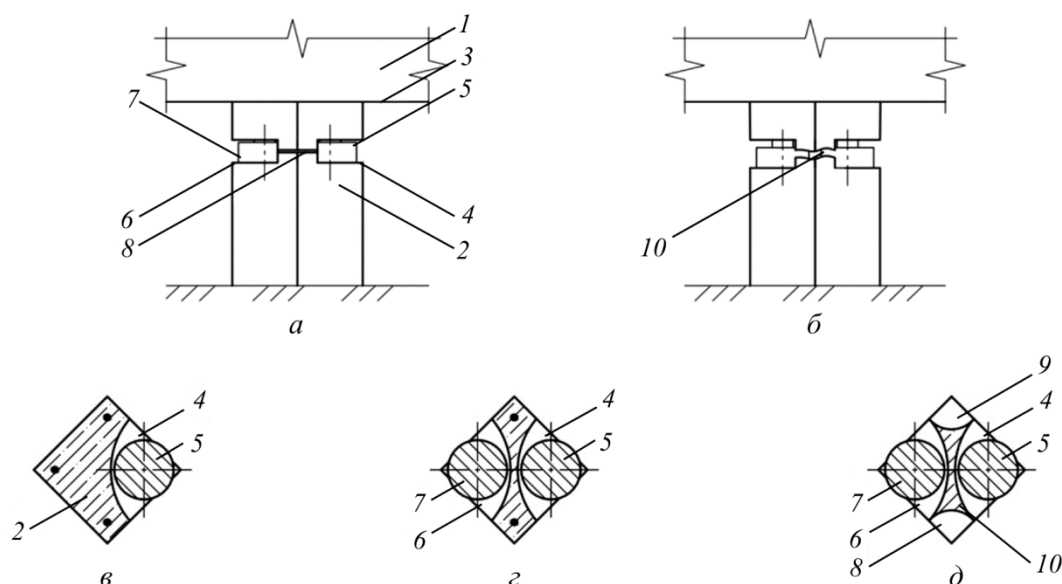


Рис. 1. Схема испытаний свай: *a* – вид спереди до начала нагружения свай; *б* – вид спереди в ходе нагружения; *в* – поперечное сечение сваи после выполнения 1-й прорези и установки домкрата; *г* – поперечное сечение сваи после выполнения 2-й прорези и установки домкрата; *д* – поперечное сечение сваи после подрезки арматуры в углах; 1 – ростверк; 2 – свая; 3 – подошва ростверка; 4, 6, 8, 9 – прорези; 5, 7 – домкраты; 10 – ослабленное сечение ствола сваи

Fig. 1. Pile load test scheme: *a* – a front view before pile loading; *b* – a front view during loading (process); *c* – pile cross-section after making the 1<sup>st</sup> cut and placing the hydraulic jack; *d* – pile cross-section after making the 2<sup>nd</sup> cut and placing the hydraulic jack; *e* – pile cross-section after cutting the reinforcement in the corners; 1 – pile cap; 2 – pile; 3 – pile cap footing; 4, 6, 8, 9 – cuts; 5, 7 – hydraulic jacks, 10 – pile cross-section core

При проведении испытаний (рис. 1) выполняются следующие операции:

- обнажение низа ростверка и головы испытываемой сваи;
- выполнение прорези на половину поперечного сечения сваи и установка в нее домкрата;
- нагнетание рабочей жидкости в домкрат для обеспечения усилия распора:

<sup>2</sup> Руководство по проектированию свайных фундаментов / НИИОСП им. Н.М. Герсеванова Госстроя СССР. М.: Стройиздат, 1980. 151 с.

$$N = \frac{Fa}{A}, \quad (1)$$

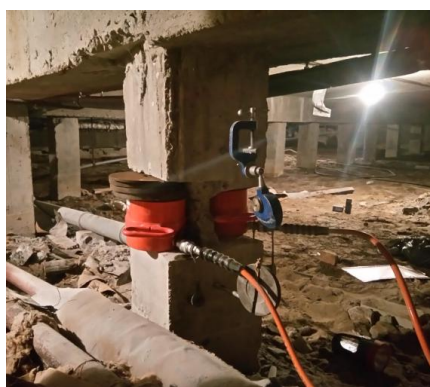
где  $F$  – расчетная нагрузка на сваю, кН;  $a$  – площадь поперечного сечения прорези, см<sup>2</sup>;  
 $A$  – площадь поперечного сечения ствола сваи, см<sup>2</sup>;

- выполнение второй прорези с установкой в нее второго домкрата;
- нагнетание рабочей жидкости во второй домкрат, с усилием распора, равным  $N$ ;
- подрезка рабочей арматуры в двух других углах поперечного сечения сваи;
- нагнетание рабочей жидкости с помощью одной насосной станции в два домкрата одновременно, до разрыва бетона в ослабленном сечении ствола сваи;
- наращивание ступенями нагрузки на сваю, с попутным измерением осадки.

Испытания завершают при достижении нагрузки, заданной программой испытаний, или предельных перемещений сваи. Разгрузку сваи проводят в следующем порядке:

- снижают давление рабочей жидкости в домкратах до величины  $N$ ;
- сохраняя давление в одном из домкратов, сбрасывают давление во втором, извлекают его из прорези и расклинивают сваю с помощью деревянных клиньев;
- сбрасывают давление в последнем домкрате и извлекают его из прорези;
- заполняют прорезь бетонной смесью, приготовленной на быстротвердеющем цементе;
- после набора бетоном прочности бетона убирают расклинивающий элемент и заполняют бетоном вторую прорезь.

Предлагаемый способ испытания свай был апробирован в ходе предпроектных работ по реконструкции трех кирпичных зданий в г. Архангельске и г. Северодвинске (рис. 2). На каждом объекте проведены статические испытания свай двумя способами.



*a*



*б*



*в*

Рис. 2. Проведение испытания: *a* – объект № 1;  
*б* – объект № 2; *в* – объект № 3  
Fig. 2. Pile load tests: *a* – project № 1;  
*b* – project № 2; *c* – project № 3

Испытания первой сваи проводились согласно ГОСТ 5686–2012. Перед проведением испытаний выполнялась срубка головы сваи на высоту 200 мм. Испытания прекращали при достижении осадки свай, превышающей 24 мм, что соответствует требованиям СП 24.13330.2011<sup>3</sup>.

Критерии стабилизации и максимальная осадка при испытании по предлагаемой методике были приняты как для первой испытываемой сваи.

В ходе испытаний предельное сопротивление свай, испытанных по предложенному способу, оказалось на 5–7 % больше, чем для свай, испытанных по стандартной методике ГОСТ 5686–2012 (рис. 3).

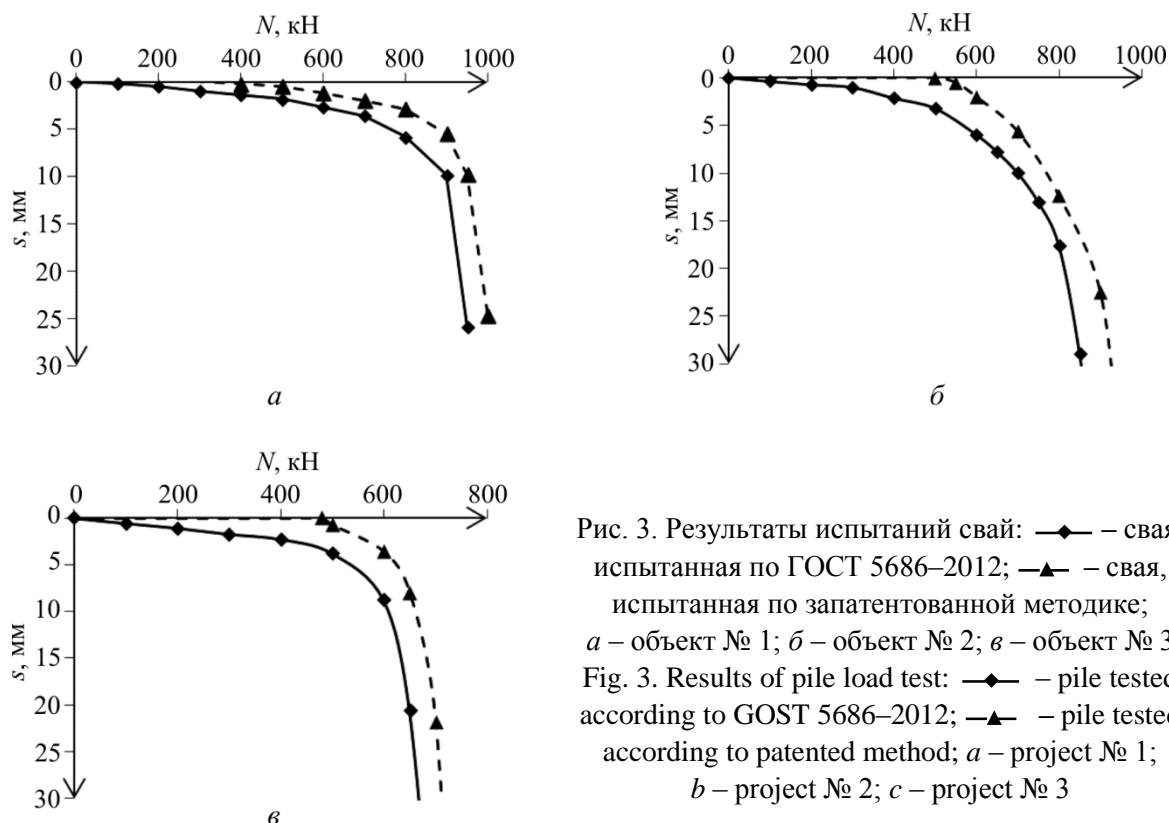


Рис. 3. Результаты испытаний свай: —◆— сваи, испытанные по ГОСТ 5686–2012; —▲— сваи, испытанные по запатентованной методике; а – объект № 1; б – объект № 2; в – объект № 3  
Fig. 3. Results of pile load test: —◆— pile tested according to GOST 5686–2012; —▲— pile tested according to patented method; а – project № 1; б – project № 2; в – project № 3

Эффект от применения предлагаемого способа выше в тех случаях, когда испытания свай проводят после длительного периода эксплуатации здания, так как за это время происходит значительный рост прочностных и деформационных свойств околосвайного грунта. Вероятно, что разгрузка сваи и неконтролируемое перемещение ее вверх после отделения от ростверка снижает силы трения ствола сваи с грунтом. В случаях, когда большая часть действующей нагрузки передается через нижний конец сваи, после разгрузки наблюдается разуплотнение грунта, а значит, повторное загрузку сваи происходит в худших условиях по сравнению со сформировавшимся за время эксплуатации фундамента.

## 2. Способ статических испытаний с учетом влияния соседних свай

Согласно российским нормам (ГОСТ 5686–2012) для исключения влияния анкерных свай на результаты испытаний расстояние от них до оси испытываемой сваи должно быть не менее  $5d$ , где  $d$  – размер поперечного сечения ствола, и не менее 2 м. Однако при устройстве

<sup>3</sup> СП 24.13330.2011. Свайные фундаменты. Введ. 2011–05–20. М.: Минрегион, 2010. 85 с.

фундаментов сваи могут размещать и на меньших расстояниях – до  $3d$  (СП 24.13330.2011). В связи с этим необходимо принять во внимание возможное влияние смежных свай при проведении статических испытаний в фундаментах существующих зданий.

С учетом этого фактора предложен способ испытания свай статической нагрузкой, на который получен патент на изобретение [9].

Предлагаемый способ реализуется следующим образом:

- после отрывки грунта рядом с фундаментом обнажаются низ ростверка и головы испытываемой и смежных свай;
- на расстоянии не менее  $5d$  от оси испытываемой сваи устанавливается реперная система с прогибомерами;
- на испытываемой и смежных сваях крепятся приборы для измерения деформаций ствола – экстензометры [10–12];
- выполняется отделение верха испытываемой сваи от ростверка;
- в пространство между испытываемой сваем и ростверком устанавливается домкрат;
- регистрируя показания экстензометров и датчика перемещений, производят нагружение сваи домкратом до момента достижения исходного напряженного состояния, таким образом, определяют фактическое усилие, действовавшее на нее до начала испытаний;
- ступенями наращивают нагрузку на испытываемую сваю, регистрируя осадку сваи и изменение напряжений в ее стволе, а также в стволах смежных свай.

Испытания завершают при достижении нагрузки, заданной программой испытаний, или предельных перемещений сваи. Схема испытаний свай представлена на рис. 4.

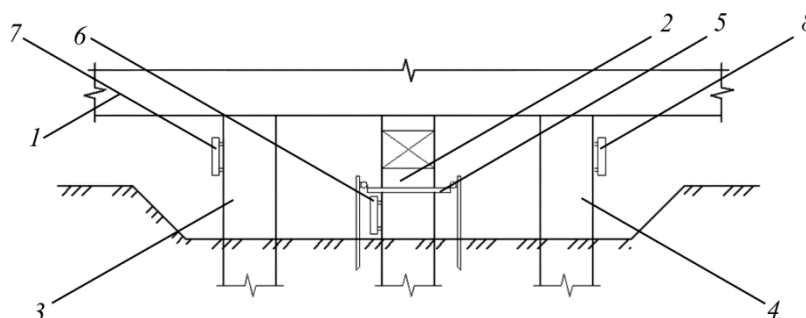


Рис. 4. Схема испытаний свай: 1 – ростверк; 2 – испытываемая свая; 3, 4 – смежные сваи; 5 – реперная система; 6, 7, 8 – экстензометры  
Fig. 4. Pile load test scheme: 1 – pile cap; 2 – test pile; 3, 4 – adjoined piles; 5 – supporting frame for measuring device; 6, 7, 8 – extensimeter

По данным испытаний строят график «нагрузка – осадка» и определяют несущую способность сваи с учетом влияния соседних свай,  $F_u^*$ , кН, а также резерв несущей способности  $\Delta V$ , кН (рис. 5):

$$F_u^* = F_u + \sum_{i=1}^n \Delta N_i, \quad (2)$$

$$\Delta V = F_u^* - N_0, \quad (3)$$

где  $F_u$  – нагрузка, заданная программой испытаний или полученная при предельных перемещениях сваи, кН;  $\Delta N_i$  – разница между конечным и начальным усилием в смежной свае, кН;  $N_0$  – фактическое усилие, действовавшее на сваю до начала испытаний, кН.

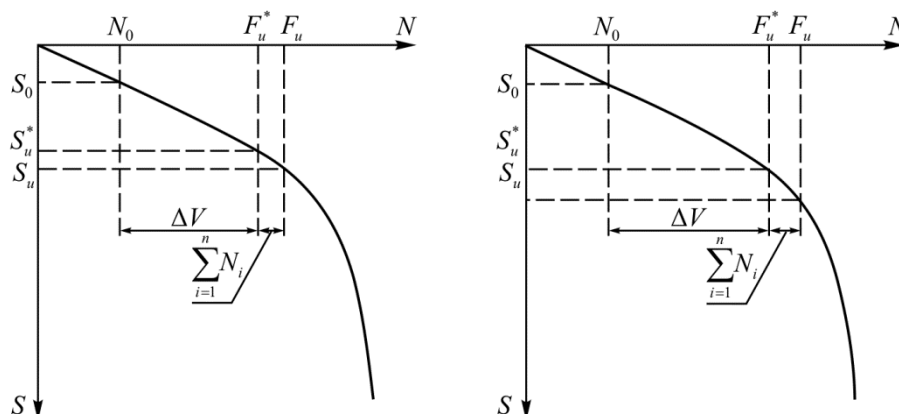


Рис. 5. Графики зависимости осадки свай от нагрузки  
Fig. 5. The load–settlement plots

Предлагаемый способ испытания свай статической нагрузкой в фундаментах существующих зданий позволяет определять фактическую нагрузку на испытываемую сваю в составе фундамента и учитывать влияние соседних свай.

### Заключение

Разработан и запатентован способ испытаний свай статической нагрузкой в фундаментах существующих зданий, позволяющий определять их несущую способность, не выключая испытываемую сваю из работы и не допуская ее перемещений вверх, т.е. сохраняя неизменным напряженное состояние вмещающего сваю массива грунта, сформировавшееся за время эксплуатации здания. Экспериментально подтверждено большее предельное сопротивление сваи при статических испытаниях в фундаментах существующих зданий по запатентованной методике на 5–7 %.

### Библиографический список

1. Дзагов А.М. Совершенствование методики испытаний свай статическими нагрузками // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2004. – № 4. – С. 29–31.
2. Способ обследования существующего свайного фундамента: А.с. 1749389А1 СССР, МПК Е 02 D 33/00 / (СССР) / И.К. Попсуенко, М.Я. Пельц. – № 4874201/33, Заявл. 16.10.90; Оpubл. 23.07.92. Бюл. № 27. – 4 с.
3. Бартоломей А.А., Омельчак И.М., Юшков Б.С. Прогноз осадок свайных фундаментов. – М.: Стройиздат, 1994. – 384 с.
4. Bond A.J., Jardine R.J. Effects of installing displacement piles in a high OCR clay // Geotechnique. – 1991. – Vol. 41 (3). – P. 341–363.
5. Lehane B.M., Jardine R.J. Displacement pile behaviour in a soft marine clay // Canadian Geotechnical Journal. – 1994. – Vol. 31 (2). – P. 181–191.
6. Lehane B.M., Jardine R.J. Displacement pile behaviour in glacial clay // Canadian Geotechnical Journal. – 1994. – Vol. 31 (1). – P. 79–90.
7. Пилягин А.В., Шукенбаев А.В. Напряженно-деформированное состояние оснований свай при испытании статическим нагружением // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2001. – № 3. – С. 2–6.
8. Способ испытания свай статической нагрузкой: пат. 2557277 Рос. Федерация / Невзоров А.Л., Саенко Ю.В. – № 2014121977/03; заявл. 29.05.14; опубл. 20.07.15, Бюл. № 20. – 6 с. Заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВПО Север. (Аркт.) фед. ун-т им. М.В. Ломоносова.

9. Способ испытания свай статической нагрузкой: пат. 2583806 Рос. Федерация / Невзоров А.Л., Саенко Ю.В. – № 2015112422/03; заявл. 06.04.15; опубл. 10.05.16, Бюл. № 13. – 7 с. Заявитель и патентообладатель ФГАОУ ВПО Север. (Аркт.) фед. ун-т им. М.В. Ломоносова.

10. Экспериментальные исследования при обосновании прочностных и ресурсных характеристик элементов конструкций / М.Ю. Втюрин [и др.] // Тр. науч. конгр. 13-го рос. арх.-строит. форума; НГАСУ. – Н. Новгород, 2016. – С. 33–35.

11. Ершова А.Ю., Мартиросов М.М. Экспериментальные исследования полимерных композитов с мелкодисперсным наполнителем (испытания на растяжение – сжатие) // Строительная механика инженерных конструкций и сооружений. – 2014. – № 5. – С. 61–69.

12. Плевков В.С., Колупаева С.Н., Кудяков К.Л. Расчетные диаграммы нелинейного деформирования базальтофибробетона при статических и кратковременных динамических воздействиях // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2016. – № 3 (56). – С. 95–110.

## References

1. Dzagov A.M. Sovershenstvovanie metodiki ispytaniia svai staticheskimi nagruzkami [Improving the method of testing piles with static loads]. *Osnovaniia, fundamenty i mekhanika gruntov*, 2004, no. 4, pp. 29-31.

2. Popsuenko I.K., Pelts M.Ia. Sposob obsledovaniia sushchestvuiushchego svainogo fundamenta [Method of inspection of the existing pile foundation]. Patent USSR 1749389A1 SSSR (1992).

3. Bartolomei A.A., Omel'chak I.M., Iushkov B.S. Prognoz osadok svainykh fundamentov [Forecast precipitation pile foundations]. Moscow, Stroiizdat, 1994, 384 p.

4. Bond A.J., Jardine R.J. Effects of installing displacement piles in a high OCR clay. *Geotechnique*, 1991, vol. 41 (3), pp. 341-363.

5. Lehane B.M., Jardine R.J. Displacement pile behaviour in a soft marine clay. *Canadian Geotechnical Journal*, 1994, vol. 31 (2), pp. 181-191.

6. Lehane B.M., Jardine R.J. Displacement pile behaviour in glacial clay. *Canadian Geotechnical Journal*, 1994, vol. 31 (1), pp. 79-90.

7. Piliagin A.V., Shukenbaev A.V. Napriazhenno-deformirovannoe sostoianie osnovanii svai pri ispytaniia staticheskim zagruzheniem [Stress-strain state of pile foundations under static loading test]. *Osnovaniia, fundamenty i mekhanika gruntov*, 2001, no. 3, pp. 2-6.

8. Nevzorov A.L., Saenko Iu.V. Sposob ispytaniia svai staticheskoi nagruzkoi [Method of testing piles static load]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2557277 (2015).

9. Nevzorov A.L., Saenko Iu.V. Sposob ispytaniia svai staticheskoi nagruzkoi [Method of testing piles static load]. Patent Rossiiskaia Federatsiia no. 2583806 (2016).

10. Vtiurin M.Iu. et al. Eksperimental'nye issledovaniia pri obosnovanii prochnostnykh i resursnykh kharakteristik elementov konstruksii [Experimental researches at justification of strength and resource characteristics of structural elements]. *Trudy nauchnogo kongressa 13-go rossiiskogo arkhitekturno-stroitel'nogo foruma*. Nizhnii Novgorod, NGASU, 2016, pp. 33-35.

11. Ershova A.Iu., Martirosov M.M. Eksperimental'nye issledovaniia polimernykh kompozitov s melkodispersnym napolnitelem (ispytaniia na rastiazhenie – szhatie) [Experimental studies of polymer composites with fine filler (tensile-compression testing)]. *Stroitel'naia mekhanika inzhenernykh konstruksii i sooruzhenii*, 2014, no. 5, pp. 61-69.

12. Plevkov V.S., Kolupaeva S.N., Kudiakov K.L. Raschetnye diagrammy nelineinogo deformirovaniia bazal'tofibrobetona pri staticheskikh i kratkovremennykh dinamicheskikh vozdeistviiakh [Estimated graphs nonlinear deformation of basalt fiber concrete under static and transient dynamic effects]. *Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arkhitekturno-stroitel'nogo universiteta*, 2016, no. 3 (56), pp. 95-110.