

DOI: 10.15593/2224-9826/2015.1.05

УДК 624.154.5

**Г.Г. Болдырев, Г.А. Новичков**

Пензенский государственный университет архитектуры  
и строительства, Пенза, Россия

**ТЕХНОЛОГИЯ ПОЛЕВЫХ ИСПЫТАНИЙ ГРУНТОВ  
МЕТОДОМ БУРОВОГО ЗОНДИРОВАНИЯ**

Рассмотрена технология полевых испытаний дисперсных, мерзлых и скальных грунтов методом бурового зондирования. Данный метод предлагается использовать при профилировании массивов грунтов с целью определения их мощности и прочностных и деформационных характеристик. Отмечено, что, несмотря на ряд преимуществ CPT (Cone Penetration Test – статическое зондирование) по сравнению с другими полевыми методами испытаний, он не применим в мерзлых и скальных грунтах. Более перспективным методом полевых исследований свойств грунтов является, по мнению авторов, метод бурового зондирования. Во-первых, данный метод применим в отличие от метода статического зондирования не только в глинистых и песчаных грунтах, но и в крупнообломочных, скальных и мерзлых грунтах. Во-вторых, рассматриваемый метод позволяет прямым методом, без использования корреляционных зависимостей, определять модуль деформации грунта и силы сопротивления сдвигу. В то же время, используя корреляционные зависимости, можно находить и другие характеристики грунтов, как и в случае использования метода статического зондирования.

Метод бурового зондирования включает испытания грунтов путем измерения параметров бурения: крутящего момента, усилий подачи и подъема буровой колонны, веса грунта на ребордах шнека, скорости вращения, глубины бурения, отклонения бурового ствола от вертикали. Бурение выполняется сплошным или полым шнеком. Метод применим и при бурении скважин колонковым способом. Преимущество бурения полыми шнеками заключается в том, что одновременно с зондированием возможно отбирать монолиты грунта для лабораторных испытаний с целью нахождения корреляционных связей между полевыми и лабораторными испытаниями. Объединение процессов зондирования и отбора монолитов исключает бурение опорных скважин с целью отбора монолитов.

Для измерения параметров бурения разработана беспроводная информационно-измерительная система, которая устанавливается на стандартные буровые станки.

С использованием параметров бурения определяются механическая мощность и удельная энергия, которые используются для изучения стратиграфии природных отложений и определения прочностных и деформационных характеристик грунтов.

**Ключевые слова:** бурение шнеком, контроль параметров бурения, крутящий момент, осевая нагрузка, скорость вращения, лобовое сопротивление, информационно-измерительная система.

**G.G. Boldyrev, G.A. Novichkov**

Penza State University of Architecture and Construction, Penza, Russian Federation

## **TESTS OF SOIL BY METHOD OF BORING SOUNDING**

The paper describes a drilling test (DT) method for disperse, frozen soils and rocks and for delineating soil strata profiles along with their thickness, strength and deformation parameters. DT applies to frozen soils and rocks where the well-known CPT is not applicable.

DT applicability is evidently broader than that of CPT, because beside gravelly, rocky and frozen soils tests it enables direct measurement of soil Young modulus and shear resistance that makes all correlation equations unnecessary. Adequate correlation equations enable determination of other soil parameters similarly to CPT.

DT ensures measurements of drilling parameters: torque, drilling string push and lift forces, weight of soil on flanges, rotation speed, drilling depth, auger vertical deviation. Drilling is possible with the help of solid or hollow augers. The method enables rotary core drilling with hollow auger either to sample soil for laboratory tests to find correlations between in situ and laboratory tests. Penetration and sampling procedures make reference sample drilling unnecessary.

A wireless data acquisition system, installed on standard drilling rigs, measures drilling parameters.

Drilling parameters yield mechanical power and specific energy data to investigate natural deposits and to evaluate soil strength and deformation parameters.

**Keywords:** auger drilling, drilling parameters control, torque, axial load, rotation speed, tip resistance, data acquisition system.

### **1. Методы статического и бурового зондирования**

В настоящее время широкое применение в практике полевых испытаний грунтов находит метод статического зондирования (CPT), который используется не только для расчленения грунтовой толщи на инженерно-геологических элементы, но и для определения прочностных и деформационных характеристик грунтов [1–10]. При определении механических характеристик грунтов используются корреляционные зависимости между параметрами, измеряемыми в процессе внедрения зонда в грунт, и данными лабораторных испытаний грунтов.

На рис. 1, *a* показаны основные параметры, измеряемые при погружении зонда в грунт: удельное сопротивление грунта под наконечником зонда  $q_c$ , удельное сопротивление грунта на боковой поверхности  $f_s$ , поровое давление  $u_1$ ,  $u_2$ ,  $u_3$ . В зависимости от типа зонда поровое давление измеряется в одной из позиций, показанных на рис. 1, *a*. Контроль отклонения от вертикали определяется встроенным инклинометром, а скорость поперечных волн – акселерометром. Последний используется для определения упругого модуля сдвига. Используя параметры зондирования  $q_c$ ,  $f_s$ ,  $u$  и корреляционные уравнения, находят физические и механические характеристики грунтов.

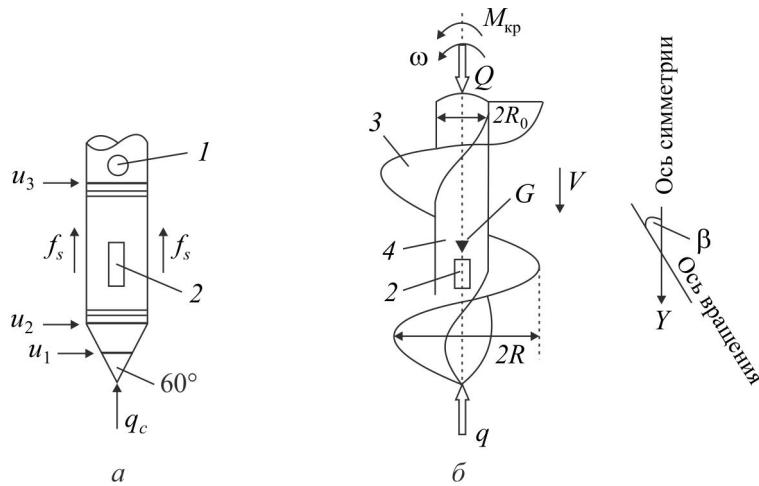


Рис. 1. Параметры, измеряемые при зондировании грунтов:

*a* – статическое зондирование; *б* – буровое зондирование;  
1 – акселерометр; 2 – инклинометр; 3 – реборда; 4 – ствол шнека

Несмотря на ряд преимуществ СРТ по сравнению с другими полевыми методами испытаний, он не применим в мерзлых и скальных грунтах. При исследовании песчаных грунтов или на больших глубинах его возможности также ограничены, так как требуется использование более прочных зондов и машин с большой собственной массой, как правило, более 20 т. Для этого обычные автомашины утяжеляются добавочными грузами из монолитного бетона или стальных пластин.

Более перспективным методом полевых исследований свойств грунтов является, по нашему мнению, метод бурового зондирования [1, 11–13]. Во-первых, данный метод применим, в отличие от метода статического зондирования, не только в глинистых и песчаных грунтах, но и в крупнообломочных, скальных и мерзлых грунтах. Во-вторых, рассматриваемый метод позволяет прямым методом, без использования корреляционных зависимостей, определять модуль деформации грунта и силы сопротивления сдвигу [1, 11]. В то же время, используя корреляционные зависимости, можно находить и другие характеристики грунтов, как и в случае статического зондирования.

Как было показано в работах [1, 11], одним из параметров бурового зондирования является механическая мощность вращательной нагрузки на текущей глубине бурения, кДж/с:

$$A = M \cdot 2\pi\omega, \quad (1)$$

где  $M$  – текущий вращающий момент, Н·м;  $\omega$  – частота вращения бурового инструмента,  $\text{с}^{-1}$ .

Этот параметр характеризует работу, затрачиваемую в единицу времени при бурении скважины.

В 1965 г. Р. Тиль [13] предложил использовать для контроля процесса бурения скважин параметр, называемый удельной энергией. Под удельной энергией понимается величина работы, необходимая для бурения единичного объема грунта:

$$E = \frac{(Q \cdot v + M \cdot \omega) \frac{s}{v}}{A \cdot s} = \frac{Q}{A} + \frac{M \cdot \omega}{A \cdot v}, \quad (2)$$

где  $Q$  – осевая сила, приложенная к инструменту в забое скважины, кН/м;  $A$  – поперечное сечение скважины,  $\text{м}^2$ ;  $M$  – крутящий момент бурового инструмента, кН·м (принимаемый равным моменту по верху буровой колонны);  $\omega$  – скорость вращения, рад/с;  $v$  – скорость поступательного движения бурового инструмента, м/с.

Показатель удельной энергии используется для оптимизации скорости погружения в породу буровой головки при проходке глубинных вертикальных, наклонных и горизонтальных скважин. Скорость погружения (пенетрации) зависит от нескольких факторов, включая нагрузку на инструмент, скорость вращения, градиент давления в забое скважины, давления бурового раствора, прочность породы и др. Однако в области инженерно-геологических изысканий показатель удельной энергии практически не используется, несмотря на то, что также выполняется бурение скважин, но только меньшей глубины.

Впервые показатель механической мощности вращения был применен в ПНИИС в 1989 г. [11] с целью выделения мощности слоев с различной прочностью. Позднее в 2012 г. в работе [11] была показана возможность применения данного метода не только для выделения инженерно-геологических элементов, но и для определения модуля деформации.

## **2. Технология бурового зондирования**

Предлагаемый метод бурового зондирования включает испытания грунтов путем измерения ряда параметров (таблица) в процессе бурения скважины сплошным или полым шнеком (рис. 2). Метод при-

меним и при бурении скважин колонковым способом. Преимущество бурения полыми шнеками заключается в том, что одновременно с зондированием возможно отбирать монолиты грунта для лабораторных испытаний с целью нахождения корреляционных связей между полевыми и лабораторными испытаниями (рис. 3). Технология отбора монолитов при бурении полыми шнеками применяется в США<sup>1</sup>. Объединение процессов зондирования и отбора монолитов исключает бурение опорных скважин с целью отбора монолитов.

### Параметры, регистрируемые при бурении

Наименование измеряемого параметра	Размерность	Диапазон	Точность измерения, % от диапазона
Крутящий момент	кН·м	0–0,5	1,0
Усилие подачи	кН	0–50	1,0
Усилие подъема/вес буровой колонны с грунтом на ребордах	кН	0–50	1,0
Скорость вращения	об/мин рад/с	0–300	1,0
Глубина	м	0–4	0,5
Отклонение от вертикали	град	0–10	0,5



Рис. 2. Шнеки, применяемые при бурении скважин:  
а – сплошной шнек с трехперьевым долотом; б – полые шнеки

<sup>1</sup> ASTM D 6151. Standard Practice for Using Hollow-Stem Augers for Geotechnical Exploration and Soil Sampling.

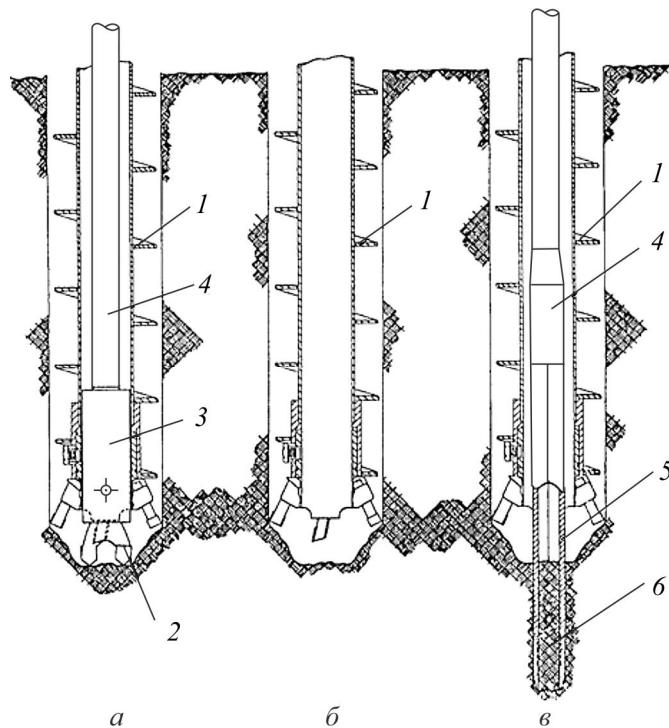


Рис. 3. Последовательность бурения скважин полым шнеком с отбором монолитов грунта: *а* – бурение скважины полым шнеком; *б* – удаление устройства для измерения параметров бурения и долота; *в* – задавливание грунтоноса: 1 – шнек; 2 – долото; 3 – устройство для измерения параметров бурения; 4 – буровая штанга; 5 – тонкостенный грунтонос; 6 – монолит грунта

Буровая установка, оборудованная устройством для измерения параметров бурения (регистратор), показана на рис. 4–6. Устройство для измерения параметров бурения (поз. 2 на рис. 5) конструктивно выполнено в виде цилиндра с шестиугольными хвостовиками по его торцам. Одним концом устройство соединяется с приводом бурового станка, а ко второму присоединяется первое звено шнека. Устройство включает датчики для измерения параметров бурения, перечень которых приведен в таблице. Сигналы с датчиков усиливаются, преобразуются в цифровой код и по беспроводной связи, через интерфейс RS 485, передаются на компьютер. Датчик перемещений, при помощи которого контролируется глубина бурения, соединен проводной связью с одним из портов компьютера. Компьютер располагается в кабине автомашины или на шасси автомашины. Устройство для измерения параметров буре-

ния работает автономно, без участия бурового мастера. Информация автоматически записывается в базу данных компьютера. При необходимости показания с датчиков можно контролировать на экране компьютера. Предусмотрена также возможность отображения на экране компьютера профилей изменения параметров бурения с глубиной, один из которых показан на рис. 8.

Этот же блок электроники в составе с компьютером (поз. 5, на рис. 5) используется при регистрации данных при проведении испытаний методом статического зондирования или испытаний плоским и винтовым штампами.

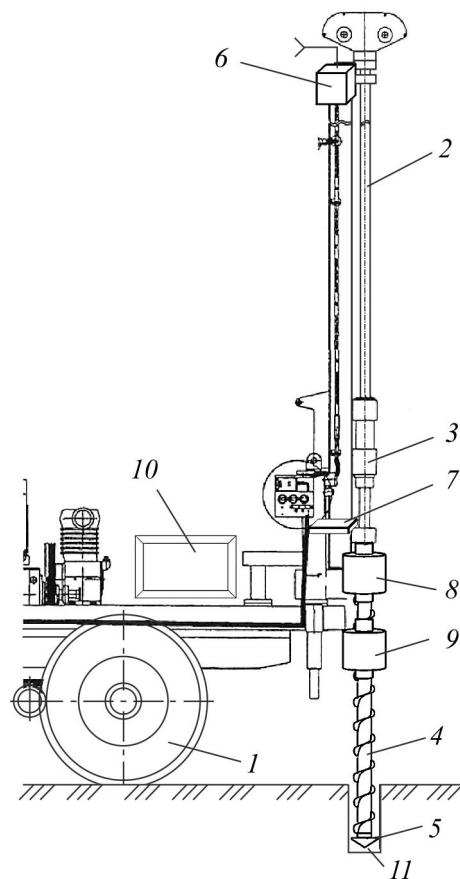


Рис. 4. Схема измерительной системы: 1 – шасси автомобиля; 2 – мачта; 3 – привод бурового станка; 4 – шнек; 5 – долото; 6 – лазерный дальномер; 7 – отражатель дальномера; 8 – устройство для измерения параметров бурения; 9 – устройство осевого нагружения; 10 – компьютер

На рис. 4 показана схема буровой установки с размещенной на ней системой для измерения параметров бурения. Измерительная система включает устройство для измерения параметров бурения 8, устройство для осевого нагружения 9, дальномер 6 и блок электроники с компьютером 10. Блок электроники и компьютер показаны в верхнем левом углу рис. 5. Эта система может быть развернута на любом буровом станке, включая малогабаритные (см. рис. 5, 6). Данный мобильный буровой станок использовался на одном из этапов испытаний для отработки процедуры измерений и исследования грунтов.



Рис. 5. Полевые испытания технологии бурового зондирования:  
1 – привод; 2 – устройство для измерения параметров бурения (регистратор);  
3 – сплошной шнек диаметром 135 мм; 4 – лазерный дальномер; 5 – блок  
электроники с компьютером

Процедура испытаний грунтов методом бурового зондирования включает следующие операции:

- 1) установка бурового станка на месте исследований и подготовка его к работе (см. рис. 5, 6);
- 2) закрепление в приводе бурового станка устройства для регистрации параметров бурения (см. рис. 5, 6, а);
- 3) соединение первого звена шнека с регистратором;



Рис. 6. Испытания грунтов буровой установкой ПБУ-50:  
а – буровое зондирование; б – буровое зондирование и испытания  
штампом: 1 – регистратор; 2 – устройство осевого нагружения

- 4) запуск питания электроники регистратора и программы управления измерениями;
- 5) запуск привода бурового станка и бурение скважины;
- 6) автоматическое протоколирование данных измерений параметров бурения (см. таблицу);
- 7) интерпретация данных измерений (рис. 7).

Процедура испытаний грунтов методом бурового зондирования с отбором монолитов грунта включает следующие дополнительные операции:

- 1) прекращение бурения скважины полым шнеком на заданной глубине;
- 2) извлечение устройства для измерения параметров бурения (см. рис. 3, б);
- 3) присоединение к буровым штангам тонкостенного пробоотборника и его погружение в грунт ниже забоя скважины;
- 4) извлечение пробоотборника на поверхность и замена его устройством для измерения параметров бурения;
- 5) продолжение процесса бурения.

Рассмотренные процедуры отличаются друг от друга не только этапом отбора монолитов, но местом измерения параметров бурения. В первой параметры бурения (см. таблицу) регистрируются на поверхности грунта, в верхней части буровой колонны. Во-второй эти же параметры бурения измеряются в забое скважины. Второй метод является более точным, так как прямым образом измеряются крутящий момент  $M$  и удельное сопротивление грунта под долотом  $q$  (см. рис. 1, б), т.е. в забое скважины. В этом случае исключается влияние сил трения между грунтом на ребордах и стенками скважины на величину измеряемого крутящего момента. Дополнительным преимуществом является измерение удельного сопротивления грунта, как в методе статического зондирования. Последнее дает возможность использования известных типов корреляционных уравнений, полученных за многие годы испытаний грунтов методом статического зондирования в испытаниях грунтов методом бурового зондирования.

На рис. 6, б показано совмещение процесса бурового зондирования с определением модуля деформации. Процедура комплексных испытаний включает следующие операции:

1. На заданной глубине испытаний прекращается бурение скважины.
2. Буровая колонна при помощи привода бурового станка поднимается вверх на 10–20 см над забоем скважины и прокручивается для снятия сил трения между стенкой скважины и шнеком.
3. Буровая колонна опускается в забой скважины, включается вращение и долото погружается в грунт на 20–30 см ниже забоя скважины.
4. К устройству для измерения параметров бурения присоединяется устройство осевого нагружения (рис. 6, б, поз. 2), которое, в свою очередь, соединяется с верхним шнеком, блоком электроники и компьютером.
5. С использованием устройства осевого нагружения выполняется задавливание шнека в грунт с измерением его осадки.
6. С помощью решения, приведенного в ГОСТ 20276–2012, и зависимости «осадка – давление» находится модуль деформации грунта на заданной глубине.

Пример подобных испытаний и сравнение результатов с испытаниями винтовым штампом приведены в работах [1, 2].

### 3. Результаты испытаний методами статического и бурового зондирования

На рис. 7, 8 приведены результаты испытаний грунтов с использованием методов статического и бурового зондирования. Испытания выполнены в пределах одной и той же площадки на глубину до 11 м. Статическое и буровое зондирования выполнялись рядом, не более 2 м друг от друга. Площадка до глубины 10 м сложена тугопластичными глинами, подстилаемые песком мелким по крупности.

С использованием данных статического зондирования выполнено разбиение грунтовой толщи на инженерно-геологические элементы (рис. 7, *a*, *b*). Подобное разбиение было выполнено на профилях механической мощности и удельной энергии, графики которых показаны на рис. 8. Если сравнить рис. 7 и 8, то можно сделать вывод о совпадении мощности и количества выделенных инженерно-геологических элементов обоими методами. Таким образом, можно говорить о совпадении двух методов испытаний при выделении мощности инженерно-геологических элементов.

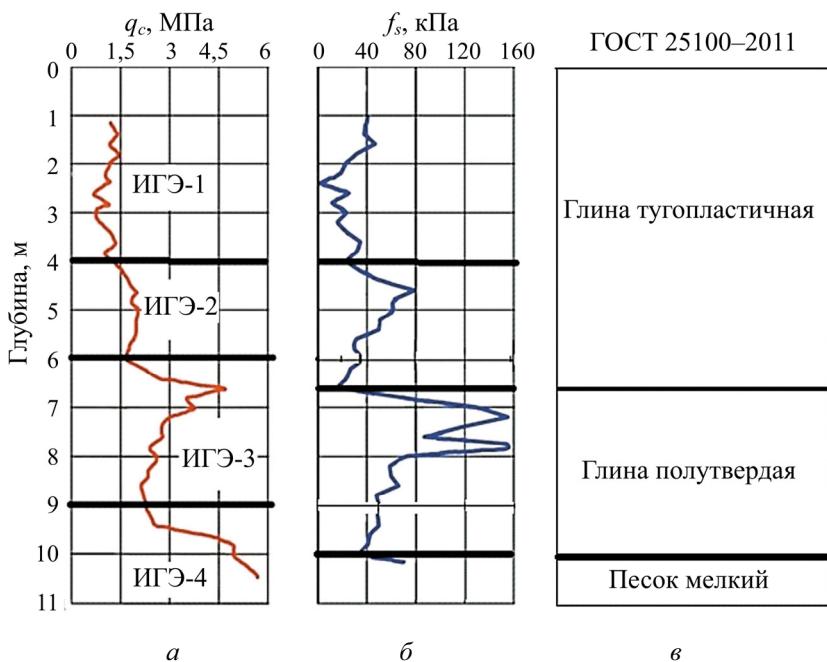


Рис. 7. Сводный график статического зондирования: *a* – удельное сопротивление грунта под конусом зонда; *b* – удельное сопротивление грунта на боковой поверхности зонда

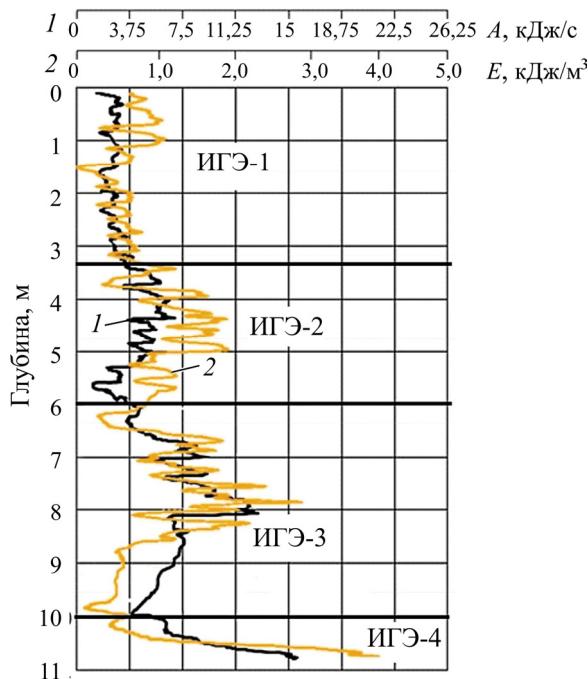


Рис. 8. Графики бурового зондирования:  
1 – механическая мощность; 2 – удельная энергия

Из профилей, которые приведены на рис. 7, 8 видно, что на глубине от 6 до 9 м залегает более прочный слой глины. Этот слой подстилается песком средней крупности, что было выявлено путем отбора монолитов из контрольной скважины.

С целью сравнения полученных результатов было проведено бурение контрольной скважины с отбором монолитов грунта на глубину до 12 м. С применением классификационных показателей (ГОСТ 25100–2010) выполнено разбиение грунтовой толщи на инженерно-геологические элементы (рис. 7, в). Как видно из рис. 7, классический метод ГОСТ 25100 показывает несколько иные результаты. В пределах глубины от 1 до 6,5 м выделен один инженерно-геологический элемент, в то время как из интерпретации данных полевых методов получено два инженерно-геологических элемента. Из рис. 7, а видно, что ИГЭ-1 и ИГЭ-2 могут быть объединены в один элемент, так как значения  $q_c$  по глубине изменяются незначительно. Можно сделать вывод о том, что при выделении слоев грунта при использовании профиля  $q_c$  получаются более точные результаты.

### **Библиографический список**

1. Болдырев Г.Г. Полевые методы испытаний грунтов. – М., 2013. – 356 с.
2. Сравнение методов лабораторных и полевых испытаний грунтов / Г.Г. Болдырев, А.В. Мельников, Е.В. Меркульев, Г.А. Новичков // Инженерные изыскания. – 2013. – № 14. – С. 28–46.
3. Рыжков И.Б., Исаев О.Н. Статическое зондирование грунтов. – М.: Изд-во ACB, 2010. – 496 с.
4. Lunne T., Robertson P.K., Powell, J.J.M. Cone penetration testing in geotechnical practice. Blackie Academic. Chapman-Hall Publishers, U.K.; available from EF Spon. Routledge Pub. – New York, 1997. – 312 p.
5. Lunne T., Yang S., Schnaid F. Session Report 2: Interpretation // 3rd International Symposium on Cone Penetration Testing. – Las Vegas, Nevada, USA, 2014. – P. 145–164.
6. Massarsch K.R. Cone Penetration Testing – A Historic Perspective // 3rd International Symposium on Cone Penetration Testing. – Las Vegas, Nevada, USA, 2014. – P. 97–134.
7. Robertson P.K., Cabal K.L. Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering. – 2010. – 138 p.
8. Robertson P.K, Cabal K.L. Estimating Soil unit weight from CPT // 2nd International Symposium on Cone Penetration testing (CPT'10). – Vol. 2. – Huntington Beach, California: Omnipress. – 2010. – P. 169–176.
9. Schnaid F. In situ testing in geomechanics. – Taylor & Francis Group, 2009. – 330 p.
10. Пономарев А.Б., Безгодов М.А. Несущая способность забивных свай в слабых водонасыщенных грунтах с учетом фактора времени // Вестник Пермского национального исследовательского политехнического университета. Строительство и архитектура. – 2014. – № 1. – С. 7–15.
11. Буровое зондирование грунтов / Г.Г. Болдырев, Р.Г. Кальбергенов, Л.Г. Кушнир, Г.А. Новичков // Инженерные изыскания. – 2012. – № 12. – С. 38–43.
12. Cardu M., Oreste P., Pettinau D., and Guidarelli D. Automatic measurement of drilling parameters to evaluate the mechanical properties of soils // American Journal of Applied Sciences. – 2013. – № 10 (7). – P. 654–663.

13. Teale R., 1965. The concept of specific energy in rock drilling// *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech.* – 1965. – No. 2. – P. 57–73.
14. Bevilacqua M., Ciarapica F.E., Marchetti B. Acquisition, Processing and Evaluation of Down Hole Data for Monitoring Efficiency of Drilling Processes // *Journal of Petroleum Science Research (JPSR)*. – 2013. – Vol. 2, iss. 2. – P. 49–56.

## **References**

1. Boldyrev G.G. Polevyye metody ispytanii gruntov [Field methods of soil testing]. Moscow, 2013. 356 p.
2. Boldyrev G.G., Mel'nikov A.V., Merkul'ev E.V., Novichkov G.A. Sravnenie metodov laboratornykh i polevykh ispytanii gruntov [Comparison of methods of laboratory and field testing of soils]. *Inzhenernye izyskaniiia*, 2013, no. 14, pp. 28-46.
3. Ryzhkov I.B., Isaev O.N. Staticheskoe zondirovanie gruntov [Static probing of soils]. Moscow: Assotsiatsiia stroitel'nykh vuzov, 2010. 496 p.
4. Lunne T., Robertson P.K., Powell, J.J.M. Cone penetration testing in geotechnical practice. Blackie Academic. Chapman-Hall Publishers, U.K.; available from EF Spon. Routledge Pub. New York, 1997. 312 p.
5. Lunne T., Yang S., Schnaid F. Session Report 2: Interpretation. *3rd International Symposium on Cone Penetration Testing*. Las Vegas, Nevada, USA, 2014, pp. 145-164.
6. Massarsch K.R. Cone Penetration Testing – A Historic Perspective. *3rd International Symposium on Cone Penetration Testing*. Las Vegas, Nevada, USA, 2014, pp. 97-134.
7. Robertson P.K., Cabal K.L. Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering. 2010. 138 p.
8. Robertson P.K., Cabal K.L. Estimating Soil unit weight from CPT. *2nd International Symposium on Cone Penetration testing (CPT'10)*. Huntington Beach, California: Omnipress, 2010, vol. 2, pp. 169-176.
9. Schnaid F. In situ testing in geomechanics. Taylor & Francis Group, 2009, 330 p.
10. Ponomarev A.B., Bezgodov M.A. Nesushchaia sposobnost' zabivnykh svai v slabykh vodonasyshchennykh gruntakh s uchetom faktora vremeni [The bearing capacity of piles in soft water-saturated clayey soils considering the time factor]. *Vestnik Permskogo natsional'nogo issledovatel'skogo politekhnicheskogo universiteta. Stroitel'stvo i arkhitektura*, 2014, no. 1, pp. 7-15.

11. Boldyrev G.G., Kal'bergenov R.G., Kushnir L.G., Novichkov G.A. Burovoe zondirovanie gruntov [Drilling sensing of soils]. *Inzhenernye izyskaniia*, 2012, no. 12, pp. 38-43.
12. Cardu M., Oreste P., Pettinau D., and Guidarelli D. Automatic measurement of drilling parameters to evaluate the mechanical properties of soils. *American Journal of Applied Sciences*, 2013, no. 10 (7), pp. 654-663.
13. Teale R. The concept of specific energy in rock drilling. *Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstracts*, 1965, no. 2, pp. 57-73.
14. Bevilacqua M., Ciarapica F.E., Marchetti B. Acquisition, Processing and Evaluation of Down Hole Data for Monitoring Efficiency of Drilling Processes. *Journal of Petroleum Science Research (JPSR)*, 2013, vol. 2, iss. 2, pp. 49-56.

Получено 22.01.2015

### **Сведения об авторах**

**Болдырев Геннадий Григорьевич** (Пенза, Россия) – доктор технических наук, профессор кафедры «Геотехника и дорожное строительство» Пензенского государственного университета архитектуры и строительства (440028, г. Пенза, ул. Титова, 28, e-mail: g-boldyrev@geoteck.ru).

**Новичков Геннадий Андреевич** (Пенза, Россия) – аспирант кафедры «Геотехника и дорожное строительство» Пензенского государственного университета архитектуры и строительства (440028, г. Пенза, ул. Титова, 28, e-mail: swwest@rambler.ru).

### **About the authors**

**Gennadii G. Boldyrev** (Penza, Russian Federation) – Doctor of Technics, Professor, Departament of Civil Constructions, Penza State University of Architecture and Construction (28, Titova st., Penza, 440028, Russian Federation, e-mail: g-boldyrev@geoteck.ru).

**Gennadii A. Novichkov** (Penza, Russian Federation) – Postgraduate student, Departament of Civil Constructions, Penza State University of Architecture and Construction (28, Titova st., Penza, 440028, Russian Federation, e-mail: swwest@rambler.ru).