

Г.Г.Болдырев, Л.Г.Кушнир

ООО «НПП Геотек», Пенза

Буровое зондирование грунтов как альтернатива статическому зондированию

Инженерно - геотехнические изыскания – как самостоятельный вид инженерных изысканий в России введен в 2006 году постановлением Правительства Российской Федерации № 20 от 19.01.2006 г. «Об инженерных изысканиях для подготовки проектной документации, строительства, реконструкции объектов капитального строительства. Виды работ в составе инженерно - геотехнических изысканий, определены в приказе Минрегиона России № 624 от 30.12.2009 «Об утверждении Перечня видов работ по инженерным изысканиям, по подготовке проектной документации, по строительству, реконструкции, капитальному ремонту объектов капитального строительства, которые оказывают влияние на безопасность объектов капитального строительства».

В соответствии с этим приказом, в составе инженерно геотехнических изысканий выделяются несколько видов работ, среди них: определение механических характеристик грунтов методами статического, динамического и бурового зондирования. Первые два метода известны и широко применяются в практике инженерно-геологических изысканий, последний метод, метод бурового зондирования (Russian drilling test RDT) малоизвестен и не применяется при определении механических характеристик грунтов и расчленении грунтовой толщи на отдельные слои грунтов.

Более широкое применение как в отечественной и преимущественно в зарубежной практике находит метод статического зондирования (СРТ), который используется не только для расчленения грунтовой толщи на инженерно-геологических элементы, но и для определения прочностных и деформационных характеристик грунтов [1,2,3,4,5]. При определении механических характеристик грунтов используются корреляционные зависимости между параметрами, измеряемыми в процессе внедрения зонда в грунт и данными лабораторных испытаний грунтов [6]. Измеряемыми параметрами являются: удельное сопротивление грунта под наконечником зонда q_c , удельное сопротивление грунта на боковой поверхности f_s , поровое давление u . В зависимости от типа зонда поровое давление измеряется в одной из позиций зонда u_1, u_2, u_3 . 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.

Несмотря на ряд преимуществ метода СРТ и его широкое применение на протяжении последних 45 лет, по сравнению с другими полевыми методами испытаний, он не применим в мерзлых и скальных грунтах. При исследовании песчаных и гравелистых 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 тонн. 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 (RDT) [1,2,7,8,9]. 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 [6], определять модуль деформации грунта и силы сопротивления сдвигу [1,9]. В тоже время, используя корреляционные зависимости можно находить и другие характеристики грунтов, как и в случае статического зондирования.

Метод бурового зондирования включает испытания грунтов путем измерения ряда параметров в процессе бурения скважины сплошным или полым шнеком, которые приведены в таблице.

Наименование измеряемого параметра	Размерность	Диапазон	Точность измерения, % от диапазона
Крутящий момент	кНм	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	0-300	1,0
Глубина	м	30	0,5
Отклонение от вертикали	град.	0-10	0,5

Одним из вычисляемых 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 крутящий момент, Н·м; ω – частота вращения бурового инструмента, с⁻¹.

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

В 1965 году Р.Тиль [11] предложил использовать для контроля процесса бурения скважин параметр, называемый удельной энергией. Под удельной энергией понимается величина работы, необходимая для бурения единичного объема грунта:

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

где Q – осевая сила, приложенная к инструменту в забое скважины, кН/м; A – поперечное сечение скважины, м²; M – крутящий момент, кНм (принимается равным моменту по верху буровой колонны); ω – 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, градиента 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 году с целью выделения мощности слоев с различной прочностью. Позднее в работах [1,2,7] была показана возможность применения данного метода не только для выделения инженерно-геологических элементов, но и для определения модуля деформации.

Преимущество бурения полыми шнеками заключается в том, что одновременно с зондированием, возможно отбирать монолиты грунта для лабораторных испытаний с целью нахождения корреляционных связей между испытаниями методом бурового зондирования и лабораторными испытаниями. Технология отбора монолитов при бурении полыми шнеками применяется в США [10]. Объединение процессов зондирования бурением и отбора монолитов исключает проходку дополнительных скважин с целью отбора монолитов, что неизбежно при исследовании грунтов методом статического зондирования.

Исследования грунтов методом бурового зондирования проводятся следующим образом. В стандартный патрон вращателя бурового станка вставляется устройство для измерения параметров бурения, конструктивно выполненное в виде цилиндра с шестигранными хвостовиками по его торцам (фото 1). Это устройство может быть установлено на любом буровом станке, включая и малогабаритные. Одним концом



а – комплект для испытаний методом бурового зондирования; б – подготовка к работе устройства бурового зондирования

устройство соединяется с приводом бурового станка, а ко второму присоединяется первое звено сплошного или полого шнека. Устройство включает датчики для измерения параметров бурения, перечень которых приведен в таблице. Сигналы с датчиков усиливаются, преобразовываются в цифровой вид и по беспроводной связи передаются на компьютер. Датчик перемещений, при помощи которого

контролируется глубина бурения, соединен проводной связью с одним из компортов компьютера. Компьютер располагается в кабине автомашины или на шасси автомашины. Устройство для измерения параметров бурения работает автономно без участия бурового мастера. Измеряемые параметры автоматически записываются 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. 1.

Процедура испытаний грунтов методом бурового зондирования включает следующие операции:

1. Установка бурового станка на месте исследований и подготовка его к работе.
2. Закрепление в приводе бурового станка устройства для регистрации параметров бурения и дальномер на мачте бурового станка.
3. Соединение первого звена сплошного или полого шнека с устройством.
4. Запуск питания электроники устройства и программы управления измерениями.
5. Запуск привода бурового станка и бурение скважины.
6. Автоматическое протоколирование данных измерений параметров бурения.
7. Интерпретация данных измерений.

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.
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.

Процедура испытаний грунтов с целью определения модуля деформации методом бурового зондирования включает следующие дополнительные 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.
5. Используя устройство, выполняется пошаговое задавливание шнека в грунт с измерением его осадки и давления.
6. Используя решение, приведенное в ГОСТ 20276-2012 и зависимость «осадка-давление» находится модуль деформации грунта на заданной глубине.

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

На рис. 1,2 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 зондирование выполнялись рядом, не более 2 м друг от друга. Площадка до глубины 10 м сложена тугопластичными глинами, подстилаемые песком мелким по крупности.

Используя данные статического зондирования, выполнено разбиение грунтовой толщи на инженерно-геологические элементы (рис. 1,а,б). Подобное разбиение было выполнено на профилях механической мощности и удельной энергии, графики которых показаны на рис. 2. Если сравнить рис. 1 и рис. 2, то можно сделать вывод о совпадении

мощности и количества выделенных инженерно-геологических элементов обеими методами. Таким образом, можно говорить о совпадении двух методов испытаний при выделении мощности инженерно-геологических элементов. Из профилей, которые приведены на рис. 1,2 видно, что на глубине от 6 до 9 м залегает более прочный слой глины. Этот 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. Используя классификационные показатели (ГОСТ 25100-2010) выполнено разбиение грунтовой толщи на инженерно-геологические элементы (рис. 1,в). Как видно из рис. 1 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 методом СРТ и RDT получено два инженерно-геологических элемента. Из рис. 1,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.

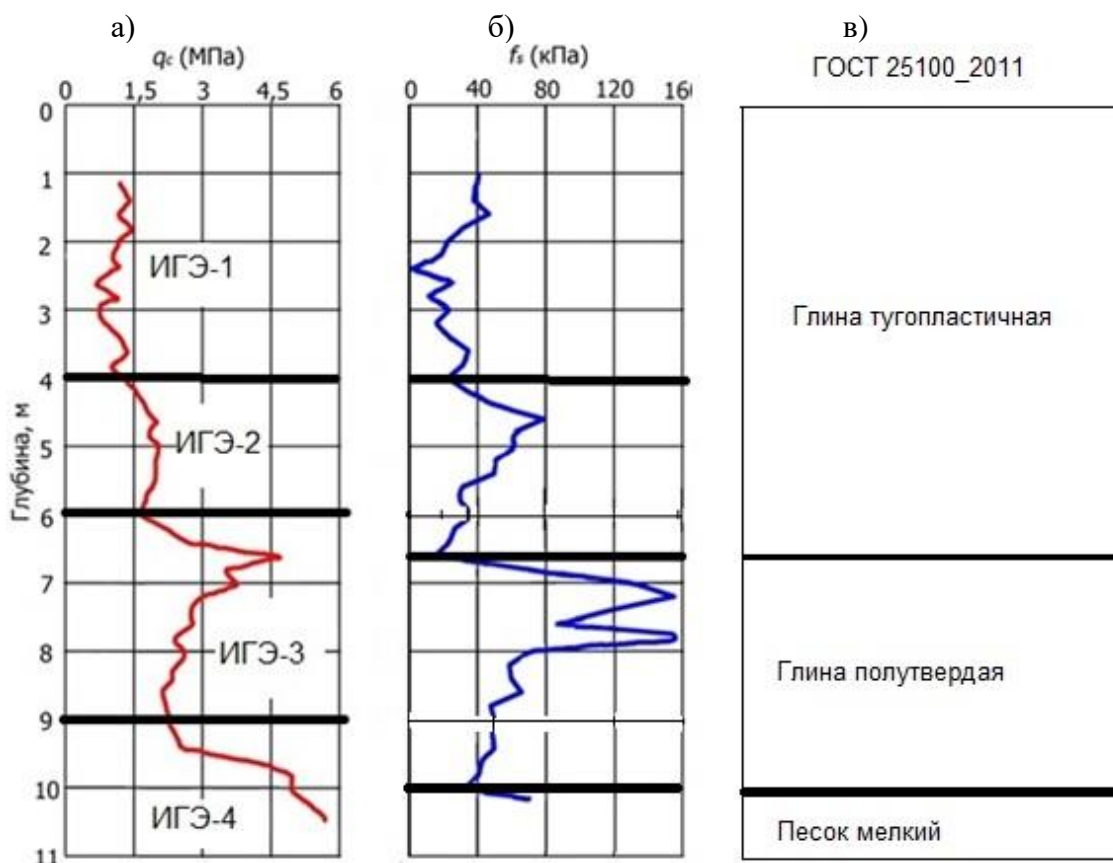


Рис. 1. Сводный график статического зондирования: а – удельное сопротивление грунта под конусом зонда; б - удельное сопротивление грунта на боковой поверхности зонда; в – выделение слоев по ГОСТ 25100

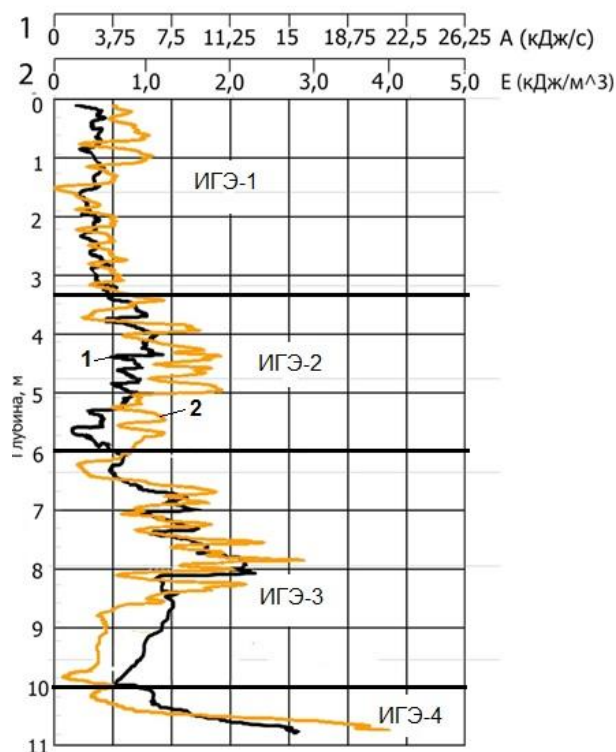


Рис. 2. Графики бурового зондирования: 1 – механическая мощность; 2 – удельная энергия

Библиографический список

1. Болдырев Г.Г. Полевые методы испытаний грунтов, 2013. – 356 с.
2. Болдырев Г.Г., Мельников А.В., Меркульев Е.В., Новичков Г.А. Сравнение методов лабораторных и полевых испытаний грунтов // Инженерные изыскания. - 2013. - №14. - С. 28-46.
3. Рыжков И.Б., Исаев О.Н. Статическое зондирование грунтов. – М.: АСВ, 2010. – 496 с.
4. Lunne T., Yang S., Schnaid F. Session Report 2: Interpretation. 3rd International Symposium on Cone Penetration Testing, Las Vegas, Nevada, USA – 2014. 145-164.
5. Robertson P.K., Cabal K.L. Guide to Cone Penetration Testing for Geotechnical Engineering. 2010. – 138 p.
6. Methods for estimating the geotechnical properties of the soil. Semi-empirical correlations of geotechnical parameters based on in situ tests. - Geostru, 2015. – 46 p.
7. Болдырев Г.Г. Буровое зондирование грунтов / Г.Г. Болдырев, Р.Г. Кальберген, Л.Г. Кушнир, Г.А. Новичков // Инженерные изыскания. – 2012. – №12.
8. 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 10 (7): 654-663, 2013
9. 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) Volume 2 Issue 2, April 2013. 49-56.
10. ASTM D 6151. Standard Practice for Using Hollow-Stem Augers for Geotechnical Exploration and Soil Sampling.
11. Teale R., 1965. The concept of specific energy in rock drilling. Int. J. Rock Mech. Min. Sci. Geomech. Abstracts, 2: 57-73.

Об авторе:

Болдырев Геннадий Григорьевич – доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Геотехника и дорожное строительство» ПГУАС; директор по инновациям и научной работе ООО НПП-Геотек.

(440028, г. Пенза, ул. Титова,28, e-mail: g-boldyrev@geotek.ru)