

ИНЖЕНЕРНЫЕ ИЗЫСКАНИЯ

КАРТЫ ОСР — 2012

ВСЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-АНАЛИТИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ

При поддержке:

**КОРРУПЦИЯ-2013.
ИТОГИ ОПРОСА ИЗЫСКАТЕЛЕЙ
ИНСТИТУТ САМОРЕГУЛИРОВАНИЯ —
ПЛОЩАДКА ДЛЯ ДИАЛОГА С ВЛАСТЬЮ**



Современные технологии

Современные



Самые современные технологии

технологии

Реклама

Современные

Все самые

современные технологии

технологии

www.geomark.ru

Журнал «Инженерные изыскания»

МЕТОДЫ СТАТИЧЕСКОГО ЗОНДИРОВАНИЯ ГРУНТОВ CPTU, SCPT И RCPT: ПРАКТИКА ПРИМЕНЕНИЯ, АНАЛИЗА И ОБРАБОТКИ ИХ РЕЗУЛЬТАТОВ

CONE PENETRATION TEST METHODS OF CPTU, SCPT AND RCPT:
PRACTICE OF APPLICATION, ANALYSIS AND PROCESSING OF THEIR RESULTS

ШОКАЛЬСКИЙ М.Ю.

Ведущий инженер-геолог, ООО «Геоинжсервис»,
группа компаний «Фугро», г. Москва, shm@fugro.ru

SHOKALSKY M.Y.

Leading geotechnical engineer, «Geoservice» LLP, «Fugro»
Group of Companies, Moscow, shm@fugro.ru

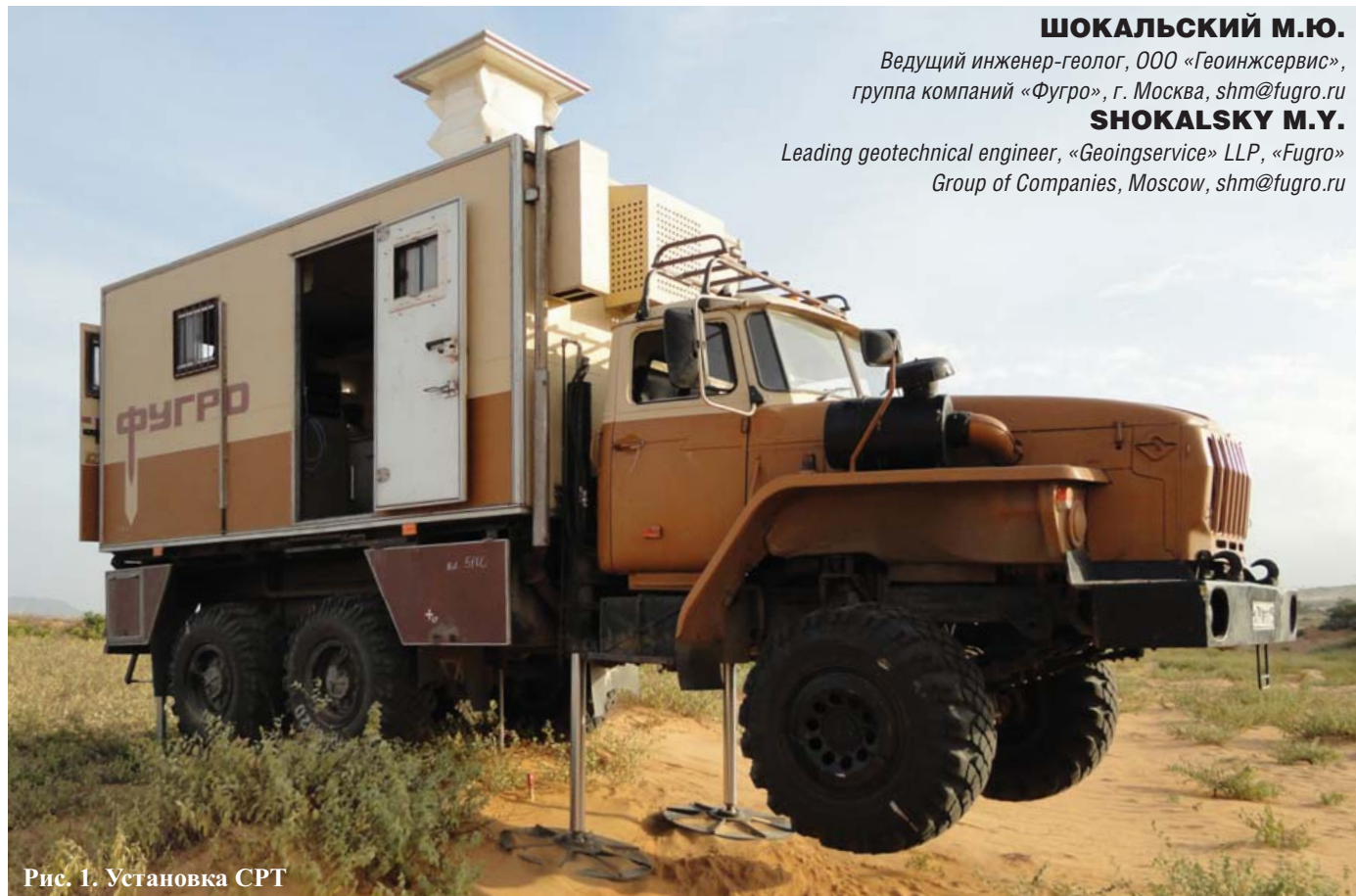


Рис. 1. Установка СРТ

Ключевые слова: статическое зондирование грунтов с измерением порового давления (CPTU); статическое зондирование с измерением скоростей волн сдвига (сейсмостатическое зондирование) (SCPT); статическое зондирование с измерением электропроводности (RCPT).

Аннотация: в статье кратко рассматривается практика применения методов статического зондирования грунтов с измерением порового давления (CPTU), скоростей волн сдвига (сейсмостатическое зондирование — SCPT) и электрического сопротивления или электропроводности (RCPT). Обсуждаются анализ и обработка получаемых с их помощью результатов. Представлены примеры трехмерной (3D) визуализации получаемых данных.

Введение

Статическое зондирование (СРТ — cone penetration testing) хорошо зарекомендовало себя при инженерно-геологических изысканиях на суше и в акваториях. В мировой практике это самый распространенный вид полевых испытаний грунтов. Он обладает значительной технико-экономической эффективностью, позволяет оперативно получать очень большие объемы информации. Зондирование СРТ позволяет анализировать грунтовые условия площадок ра-

бот, выделять ИГЭ, характеризовать их свойства и выполнять анализ фундаментов. Выполнение этого вида полевых испытаний грунтов можно смело рекомендовать в качестве первого этапа полевых инженерно-геологических изысканий, по результатам которого можно корректировать последующие работы по инженерно-геологическому опробованию и лабораторному анализу.

Надежность получаемых с помощью СРТ данных обеспечивается контролем качества, выполняемым непо-

Key words: cone penetration testing with pore pressure measurements (CPTU); seismic cone penetration testing (SCPT); resistivity cone penetration testing (RCPT).

Abstract: the article briefly describes the practice of application of the cone penetration test methods of soils with measurements of the pore pressure (CPTU), shear wave velocities (Seismic Cone Penetration Testing — SCPT) and electrical resistivity or conductivity (RCPT). The analysis and processing of their results are discussed. Some samples of three-dimensional (3D) data visualization are presented.

средственно при производстве работ и в процессе обработки данных. При этом конечные фактические результаты зондирования (сопротивление под острием конуса и по муфте трения и др.) практически лишены влияния человеческого фактора, которое растет в процессе последующего анализа данных и их интерпретации.

Статическое зондирование выполняется в массиве грунта, и это позволяет более точно характеризовать грунт и избегать многочисленных влияющих

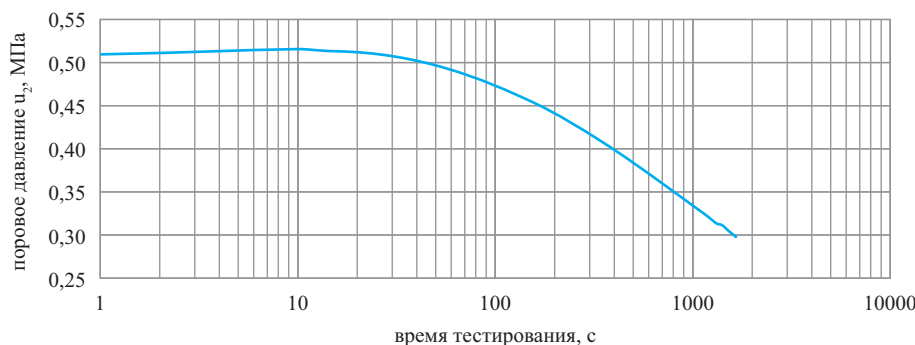


Рис. 2. Результаты теста по рассеиванию порового давления (PPDT)

на получаемые результаты факторов, которые свойственны инженерно-геологическому бурению/опробованию и лабораторным работам. Получить качественные результаты зондирования практически на порядок проще, чем качественные результаты комбинированного процесса «бурение — прободоотбор — описание — упаковка — транспортировка — хранение образцов — лабораторные работы».

Бурное развитие микроэлектроники и накопленный опыт проведения работ позволили значительно усовершенствовать измерительное оборудование за последние десятилетия. Использование специально спроектированных установок для выполнения статического зондирования (рис. 1) позволяет наиболее полно раскрыть потенциал метода и расширить его применение.

В свою очередь, развитие программных комплексов выводит на новый уровень методы анализа полученных данных.

Тестирование грунтов на большой глубине из области мечтаний инженеров-геологов уверенно перемещается в область ежедневной практики. Например, при выполнении испытаний без применения предварительного разбуривания были достигнуты следующие проектные глубины: 53 м (Казань); 45 м (Тобольск); 46 м (Сочи); 56 м (Москва); 45 м (Когалым).

Совершенствуются и усложняются конструкции пенетрометров, добавляются дополнительные датчики и модули, что позволяет регистрировать дополнительные параметры грунта, расширяя возможности метода и увеличивая его экономическую эффективность. Для простоты будем называть добавление в конструкцию пенетromетра дополнительных датчиков и модулей модификацией, хотя, по сути, это дает возможность комбинирования различных уже существующих методов получения данных в процессе од-

ного тестирования и выполнения самого статического зондирования с «до-ставкой» исследовательского оборудования в массив грунта.

В практике изысканий используются следующие модификации статического зондирования:

- с измерением порового давления (CPTU);
- с измерением электропроводности (RCPT);
- с измерением скоростей волн сдвига (сейсмостатическое зондирование) (SCPT);
- с проведением прессиометрии (CPM);
- с проведением магнитометрии (для обнаружения наличия металлических предметов);
- с установлением наличия углеводородных загрязнителей, их типа и концентрации (CPT/ROST);
- с установлением наличия летучих хлорорганических соединений и других летучих органических компонентов (CPT/MIP);
- с детекцией тяжелых металлов;
- с записью звуков при внедрении конуса (Acoustic CPT);
- с проведением гамма-каротажа;
- с измерением температуры грунта (TCPT).

В практике российских работ, как правило, используются модификации № 1–3, единичные объекты тестируются с

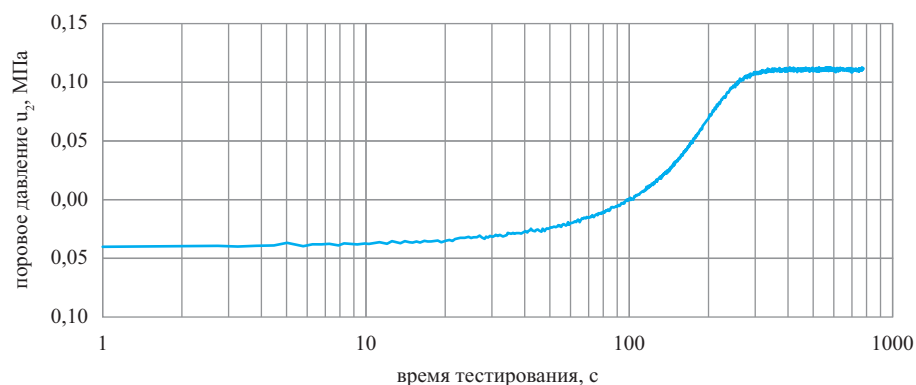


Рис. 3. Результаты теста по стабилизации порового давления (PPST)

привлечением оборудования для № 4 и 6 из вышеперечисленных.

Описанию каждой модификации, возможностей ее применения и анализа получаемых данных можно посвятить не одну статью. В настоящей публикации дается краткое практическое описание модификаций № 1–3, по которым накоплен значительный опыт применения на территории России.

Выполнение статического зондирования с измерением порового давления (CPTU)

При зондировании CPTU наличие датчика порового давления позволяет измерять давление при проведении статического зондирования. Этот датчик также делает возможным проведение дополнительных тестов по стабилизации и рассеиванию порового давления. Дополнительные тесты проводятся при прерывании вдавливания оборудования и в зависимости от поставленных задач могут длиться от нескольких минут до нескольких дней.

Важно понимать, что регистрируемое при внедрении конуса и имеющееся в массиве грунта поровое давление — это в большинстве случаев разные показатели. Для оценки порового давления в массиве грунта используются тесты по стабилизации и рассеиванию давления (рис. 2, 3).

Тест по рассеиванию порового давления проводят в глинистых грунтах для оценки коэффициентов фильтрации и консолидации и иногда порового давления в массиве грунта. Среднее время проведения теста составляет 20–30 минут.

Тест по стабилизации порового давления проводят в песчаных грунтах для оценки гидростатического давления (порового давления в массиве грунта). Результаты тестирования совместно с данными гидрогеологических наблюдений при бурении используются для анализа уровней грунто-

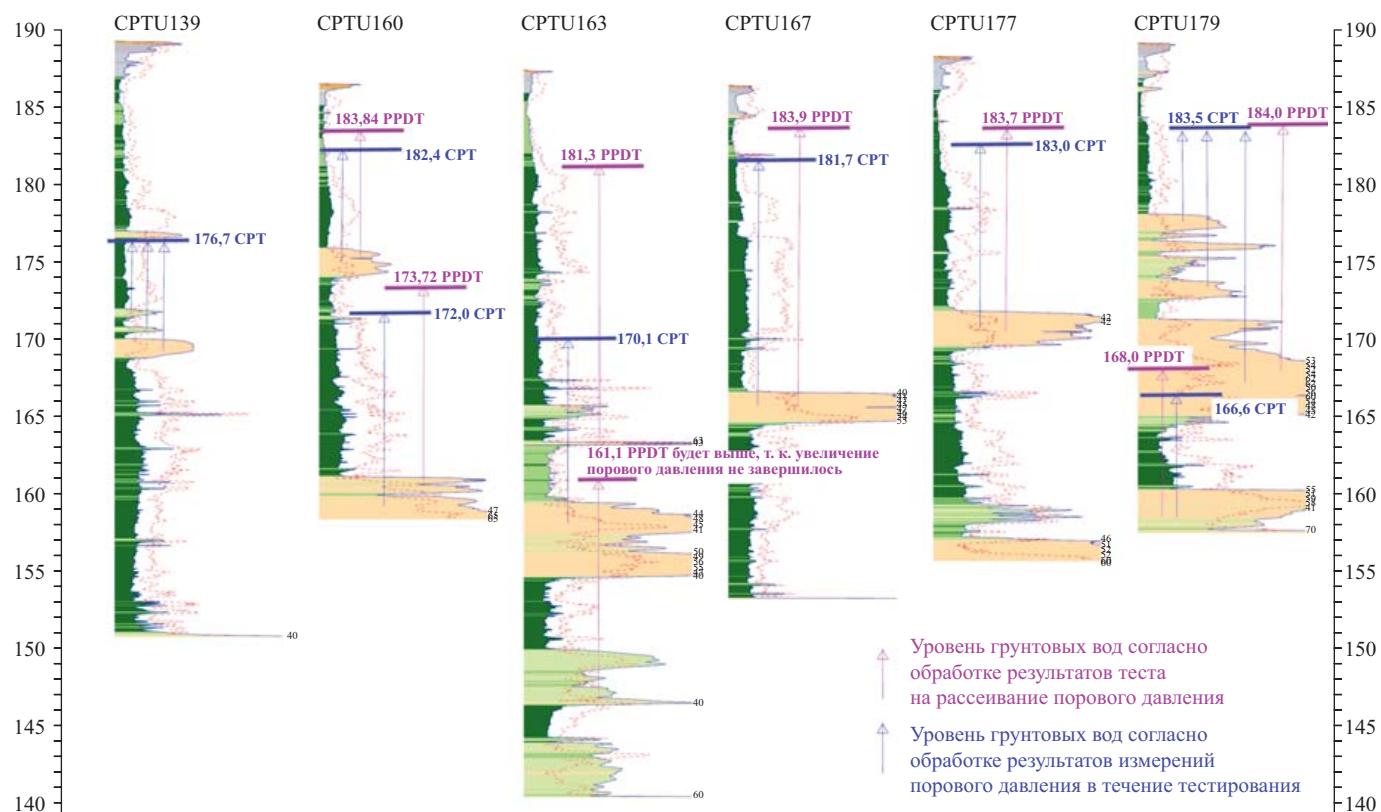


Рис. 4. Результаты измерений порового давления в массиве. Тесты по стабилизации порового давления проводились в песчаных грунтах. Их результаты совмещены с данными статического зондирования и измерений порового давления при внедрении пенетрометра. Вертикальные оси — абсолютные отметки, м. Горизонтальные оси — поровое давление, МПа

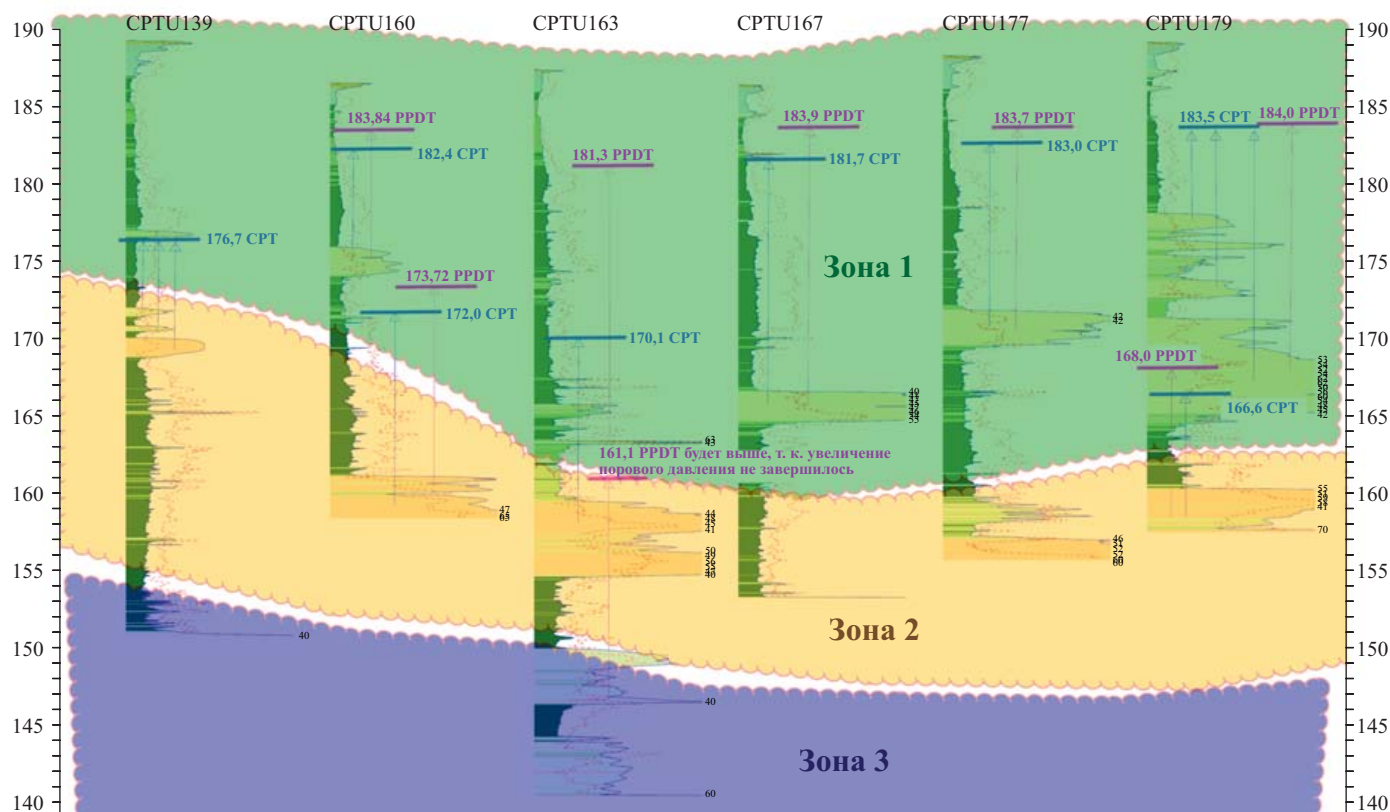


Рис. 5. Интерпретация результатов измерений порового давления, выполненная на основе сопоставления данных статического зондирования и полученных значений гидростатического порового давления на разных глубинах. Разными цветами выделены отдельные уровни подземных вод. Вертикальные оси — абсолютные отметки, м. Горизонтальные оси — поровое давление, МПа



Рис. 6. Конус для статического зондирования с измерением удельной электропроводности грунта (RCPT)

вых вод. Пример такого анализа представлен на рис. 4, 5. Выполнение тестов в данном примере позволило выделить несколько уровней подземных вод и рекомендовать глубины установки наблюдательных скважин для проведения опытных работ и режимных наблюдений.

Поровое давление, которое изменяется при вдавливании конуса, помогает более точно выполнять интерпретацию типа грунта, в песчаных грунтах оценивать гидростатическое давление. Эти данные также используются для коррекции лобового сопротивления, так как на его измеряемую величину оказывает влияние поровое давление. Степень влияния порового давления на измеряемое лобовое сопротивление связана с конструкцией конуса и указывается производителем в калибровочном сертификате. Подобная коррекция важна при испытаниях слабых грунтов, для которых ее значение сопоставимо с измеряемыми величинами сопротивления под острием конуса.

Выполнение статического зондирования с измерением удельной электропроводности грунта (RCPT)

При зондировании RCPT используется конус со встроенной парой электродов (рис. 6). Данные регистрируются с частотой 2 Гц, что дает детальные результаты до глубины завершения тестирования.

Значения удельной электропроводности связаны с влажностью, типом грунта, его составом. Изменение электропроводности грунта (появление аномалий) под действием загрязнителей делает возможным выполнение инженерно-экологических работ по обнаружению и оконтуриванию мест присутствия этих загрязнителей в исследуемом массиве.



Рис. 7. Создание сейсмического сигнала

В практике инженерно-геологических работ получаемые при RCPT данные напрямую используются для оценки коррозионной активности грунтов и уточнения результатов интерпретации данных статического зондирования. Совместный анализ данных по электропроводности и результатов статического зондирования значительно повышает достоверность интерпретации полученных материалов.

Также возможно применение модификации RCPT как опорного метода в сочетании с большим количеством поверхностных геофизических наблюдений методами электроразведки, к примеру ВЭЗ.

Значительный интерес представляет использование метода RCPT для выделения зон мерзлого грунта и исследования засоленных грунтов.

Сейсмостатическое зондирование (статическое зондирование с измерением скоростей волн сдвига в грунте — SCPT)

Модификация SCPT совмещает методы статического зондирования и сейсмического каротажа, выполняется

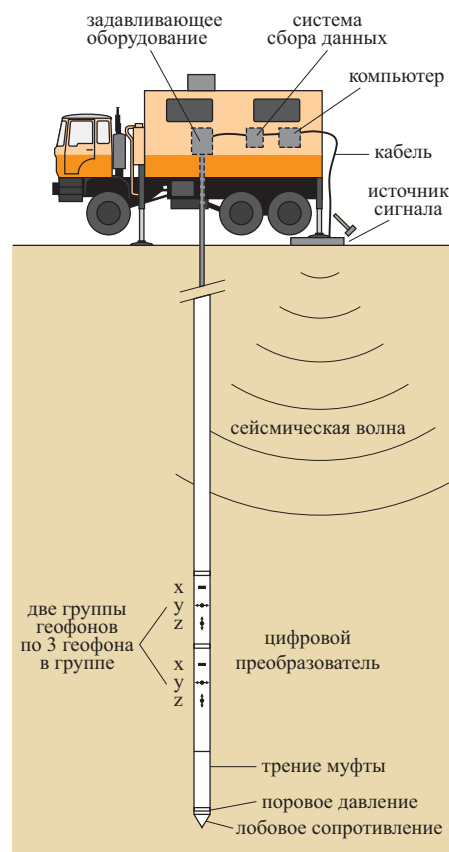


Рис. 8. Общая схема SCPT

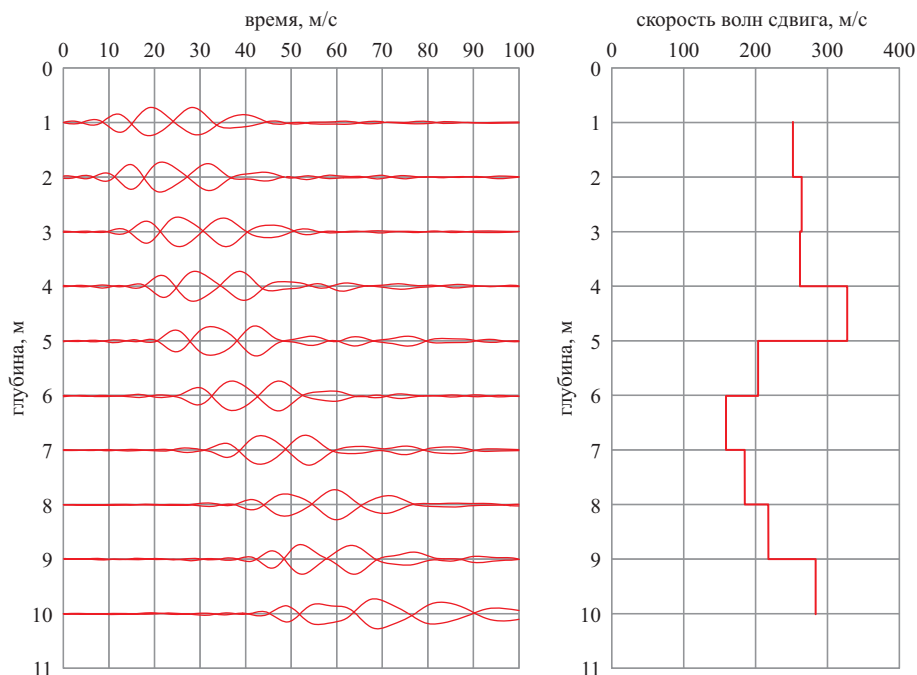


Рис. 9. Фактические результаты SCPT

конусами со встроенными группами геофонов.

Конусы нового поколения состоят из двух групп геофонов с фиксированным расстоянием между группами и оцифровкой сейсмического сигнала в конусе.

Тестирование выполняется с прерыванием вдавливания конуса на запланированных глубинах, созданием сейсмического возбуждения на поверхности (рис. 7), регистрации, накопления и сохранения получаемых данных в сейсмической станции. Общая схема

выполнения SCPT показана на рис. 8. Фактические результаты представлены на рис. 9.

При проведении тестирования SCPT обеспечивается отличный контакт сейсмических датчиков с грунтом, что создает идеальные условия для геофизических измерений.

Измеренная скорость волн сдвига в грунте используется во множестве геотехнических расчетов (динамического модуля сдвига, приращений сейсмической интенсивности, деформационных свойств грунта — перехода от динамического модуля к статическому и пр.).

По опыту проведения подобных работ в России и участия в тендерах можно утверждать, что стоимость сейсмостатического зондирования примерно в 5 раз ниже выполнения тестирования стандартными методами. Подобная экономичность достигается за счет исключения всех подготовительных работ. Оборудование доставляется к месту испытания вдавливанием.

Пространственный анализ данных

Время не стоит на месте, технологии стремительно развиваются. Наши сегодняшние мечты завтра могут оказаться реальностью. Современное программное обеспечение позволяет загружать и пространственно анализировать полученные данные, обеспечивая совместный анализ различных наборов данных и результатов геотехнических расчетов. Примеры представлены на рис. 10–12. В примере, представленном на рис. 12, в единой модели объединены несколько инженерно-геологических разрезов. Их совместное представление позволяет отобразить данные в наиболее понятном для понимания виде. Также на разные абсолютные уровни могут быть вынесены дополнительная информация и расположение сооружений.

Представленные примеры пространственного анализа грунтов выполнены на основе совместной интерпретации данных полевых исследований грунтов, бурения и лабораторных работ, но ключевую роль в создании 3D моделей играют данные полевых исследований — статического зондирования и его модификаций. Основных причин этому несколько:

- высокая достоверность данных (результаты были получены в массиве грунта);
- детальность (частота считывания данных 2 Гц позволяет собрать

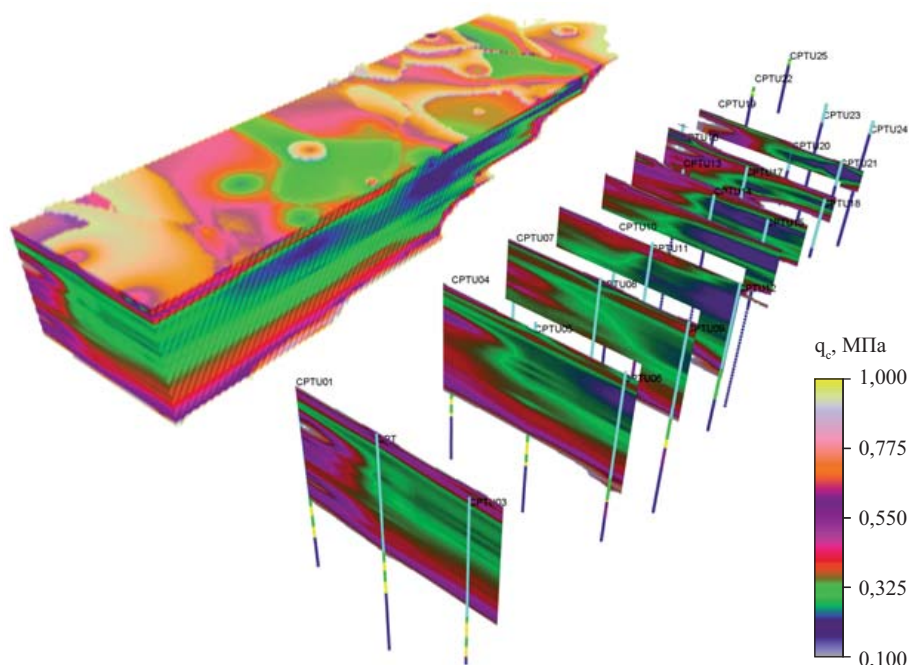


Рис. 10. Анализ уплотнения слабого глинистого грунта под автомобильной насыпью (q_c — сопротивление внедрению конуса, МПа). Обработка данных позволила проанализировать и визуализировать распределение значений уплотнения грунта под действием дополнительной нагрузки прослеживается точно под осью дороги (точки 01, 04, 07, 22). В левой части рисунка представлена общая модель слабого грунта, в правой вынесены выработки с разделением на инженерно-геологические элементы и отдельные секции из подготовленной модели

значительный объем информации, характеризующей массив);

- все получаемые данные точно привязаны в пространстве (имеют X, Y и Z координаты).

Создание пространственных моделей позволяет использовать в работе не стационарный фиксированный рисунок, а трехмерную (3D) модель, которую инженер-геолог или проектировщик могут настраивать в зависимости от решаемых задач.

Заключение

Статическое зондирование с использованием современного оборудования, специализированная установка для его выполнения и надлежащий контроль качества выполняемых работ — это мощный, производительный и надежный инструмент инженера-геолога. За счет использования модификаций СРТ увеличивается как область применения этого метода, так и его экономическая эффективность. При этом установка статического зондирования постепенно модифицируется в многопрофильную базу для производства широкого спектра работ.

Не только статическое зондирование за последние десятилетия совершило значительный рывок вперед, но и методы и оборудование для лабораторных работ, оборудование для проведения опробования и геофизических работ.

Так как все методы инженерной геологии взаимосвязаны, они всегда должны использоваться комплексно, с

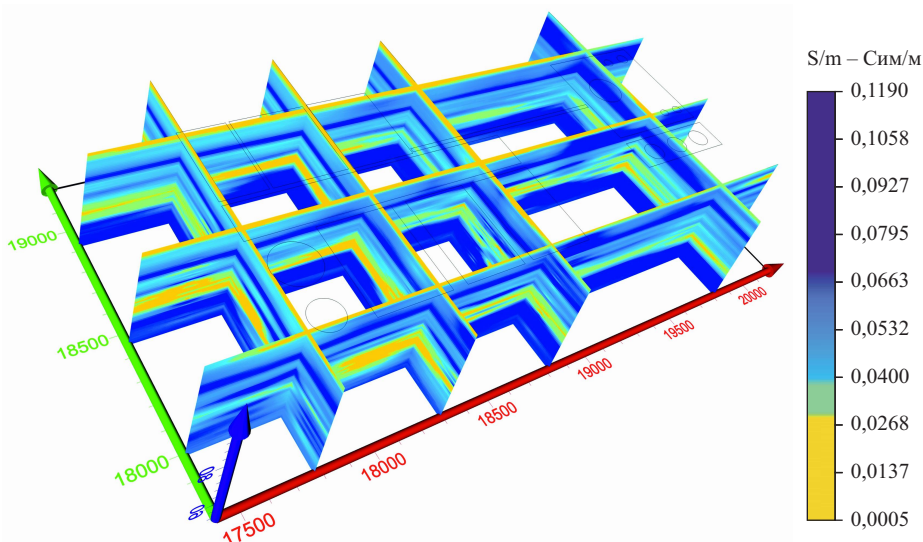


Рис. 11. 3D модель грунтовых условий по данным RCPT, выполненная на основе значительного количества полевых испытаний с измерением электропроводности грунта. На основе полученных результатов проведена интерпретация грунтовых условий на значительной площади, смоделирован весь массив грунта на глубину до 40 м от поверхности. Программа обработки данных позволяет отобразить полученные значения в любой точке смоделированного массива и построить разрезы в любом направлении. Разными цветами показаны различные типы грунта: желтым — песчаные, зеленым — супесчаные, голубым — суглинки, синим — глины. На модель нанесен обобщенный план расположения сооружений. Она выполнена в локальных координатах, активируется при выборе зоны ее расположения в pdf-версии журнала при просмотре средствами Adobe Acrobat на сайте www.geomark.ru

учетом конкретных грунтовых условий, а также ограничений каждого метода. Грамотное их сочетание и совместный анализ получаемых результатов — залог успеха в исследовании площадки работ.

Современные программы обработки данных позволяют эффективно проводить их комплексный анализ, создавать динамические 3D модели, фоку-

сирующие внимание на интересующих деталях. Передовые полевые методы исследований грунта и комплексы обработки данных значительно облегчают принятие взвешенных, технически и экономически обоснованных проектных решений за счет повышенной детализации получаемой информации о грунтовом массиве и облегчения ее комплексного анализа.

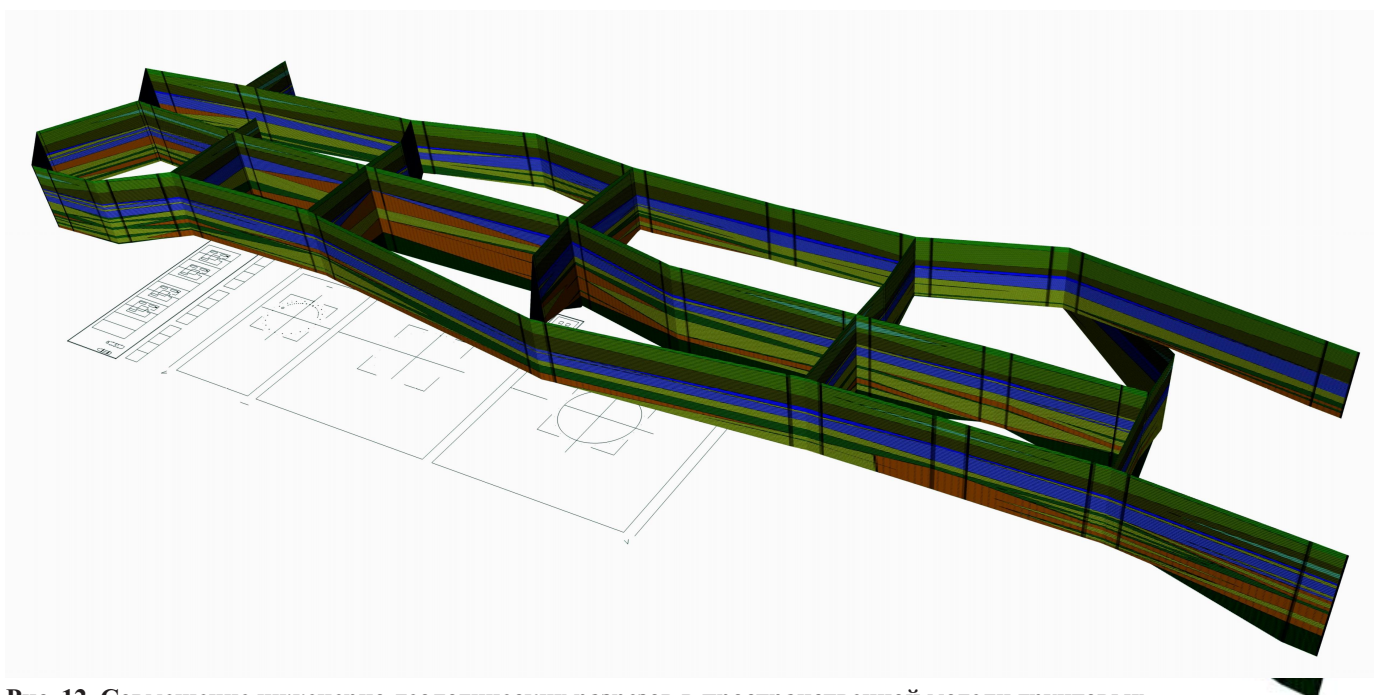


Рис. 12. Совмещение инженерно-геологических разрезов в пространственной модели грунтовых условий. Модель активируется при выборе зоны ее расположения в pdf-версии журнала при просмотре средствами Adobe Acrobat на сайте www.geomark.ru