

Российское сейсмостатическое зондирование: где купить? Когда ожидать?

- Прохачёв М.В., инженер-геофизик, ВК-сообщество «Инженерная геофизика»,
- Романов В.В., доцент, к.т.н., кафедра разведочной геофизики и компьютерных систем, РГУ нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина

Инженерная геофизика, или геофизические методы в инженерных изысканиях, решает множество задач, связанных с изучением верхней части геологического разреза в связи с хозяйственной деятельностью человека, в первую очередь, со строительством зданий и сооружений [Кувалдин, 2014].

Важнейшим методом инженерной геофизики является малоглубинная сейсморазведка. В недалёком прошлом метод преломлённых волн (МПВ) был практически единственной технологией исследования состояния и состава грунтов верхней части разреза. Причём, реализовывалась его простейшая разновидность, основанная на регистрации в первых вступлениях прямых и преломлённых волн. В результате обработки и интерпретации данных метода формировались простейшие слоистые модели с плоскими или криволинейными границами. Пластовая скорость первого слоя таких моделей определялась по наклону годографа прямой волны, у остальных слоёв — по наклону годографов преломлённых волн. Традиционные технологии определения глубинных разрезов по МПВ, такие как t_0' и сопряжённых точек, позволяют непрерывно проследить лишь одну преломляющую (наиболее глубокую) границу, а все прочие фиксируются лишь в пунктах возбуждения, а их скорости и углы наклона находятся приближённо. С увеличением числа волн, выходящих в первые вступления, точность метода и устойчивость результатов падает [Кулакова, 2019].

Развитие метода преломлённых волн, сейсмическая томография (СТ) лишь частично решает проблемы своего предшественника. В сейсмотомографии поле годографов первых вступлений рассматриваются как поле годографов рефрагированных волн, имеющих форму выпуклых кривых [Романов, 2015]. При достаточно малом шаге возбуждения данные СТ позволяют в автоматическом режиме восстановить непрерывное распределение истинных скоростей

среды в вертикальном и горизонтальном направлениях.

Но часть слоёв разреза не выделяется даже при самом малом шаге возбуждения и использовании развитых алгоритмов инверсии. Во-первых, это слои с пониженной скоростью, в их кровле просто не образуются преломлённые волны. Такими слоями являются слои песков в глинах, подземные полости и коммуникации, зоны трещиноватости, слои торфа или ила под поверхностными отложениями естественных или насыпных грунтов.

Во-вторых, это промежуточные малокоонтрастные по скорости сейсмических волн слои грунтов. Они не выходят в первые вступления и “пропускаются” как при реализации простого МПВ, так в СТ (эффект пропуска слоя).

В-третьих, МПВ бесполезен при изучении инверсных разрезов, в верхней части которых залегает приповерхностный высокоскоростной слой (ПВС), экранирующий преломлённые волн до тех пор, пока скорость на очередной границе не превысит скорость в ПВС. Такие слои наблюдаются при сезонном промерзании почвы и первого слоя грунта, при наличии твёрдого техногенного покрытия (асфальта, бетона или гранита), при выходе на поверхность скальных грунтов. При работе на продольных волнах ПВС также является слой морской или пресной воды, переувлажнённые почвы.

В-четвёртых, на ряде объектов скорость может закономерно уменьшаться с глубиной. Например, это полигоны захоронения ТБО и некоторые насыпные грунты и иные техно- и антропогенные отложения.

В-пятых, сильные преломляющие границы вблизи поверхности снижают точность и надёжность выделения последующих преломлений, снижают контрастность более глубоких границ. При выделении уровня грунтовых вод, неглубоко залегающей кровли скального или многолетнемёрзлого грунта, шанс выделить границы под ними очень невелик.

В-шестых, при исследовании глубин свыше 15 м методом преломлённых волн требуются значительные удаления для выделения волн в первых вступлениях. Из-за эффекта затухания [Романов, 2012] отношение “сигнал/помеха” на больших удалениях как правило невысоко, что снижает возможности МПВ при исследовании глубоких границ. Кроме того, в условиях плотной городской застройки, при наличии мощной разветвлённой сети подземных коммуникаций [Кочев, 2018] выбрать протяжённый прямолинейный участок поверхности, однородный по поверхностным условиям, весьма затруднительно или невозможно.

Вышеперечисленные проблемы успешно решаются таким геофизическим методом как микросейсмический каротаж [Кулакова, 2019], существующий в двух модификациях – прямой и обращенный. В прямом МСК источник (как правило ударный) располагается на поверхности земли, а приёмник (или многоканальный зонд или гидроизолированная коса) перемещаются от устья к забою скважины. В обращённом каротаже по стволу скважины перемещается уже источник, а приёмное устройство находится вблизи устья скважины.

МСК лишен базовых недостатков МПВ – не нужны большие удаления и статистика накоплений при возбуждении колебаний. Имея чувствительные датчики и достаточно разрешенный сигнал, можно выделять слои малой мощности, пониженной скорости. Инверсность разреза не сказывается на результативности таких исследований. Но недостатком МСК является необходимость бурения скважин в большом количестве, их специальной подготовке, что весьма существенно сказывается на стоимости таких работ.

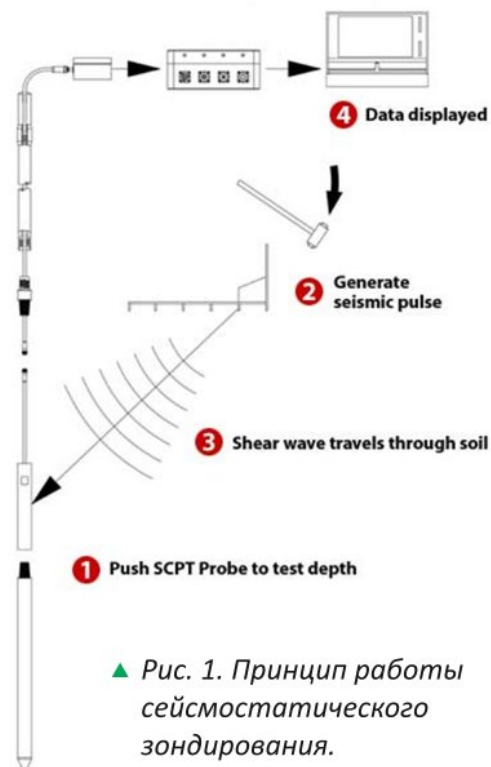
Современная технология инженерных исследований предлагает метод, не менее точный чем МСК, но дешевле и производительнее.

Таким методом является SCPT – Seismic Cone Penetration Test в англоязычной терминологии или сейсмостатическое зондирование в русскоязычной терминологии. По сути это совмещение такого метода полевых испытаний грунтов как статическое зондирование с измерением скоростей сейсмических волн в грунте – прибор доставляется к

точке исследования вдавливанием. В зонде конического типа располагаются две группы геофонов с фиксированным расстоянием между ними [Галушкин, 2018].

Сам процесс получения данных несильно отличается от известного способа статического зондирования: зонд задавливается с равномерной скоростью в глубину, при этом регистрацию колебаний можно осуществлять как практически непрерывно, так и поинтервально, с остановками погружения зонда. Две группы датчиков, расположенные в зонде на расстоянии от 0.5 до 1 м друг от друга, обычно регистрируют две или три компоненты возбуждаемого сейсмического сигнала. Возбуждение упругих колебаний производится на поверхности возле точки входа зонда в грунт при помощи кувалды (хотя возможно применение других источников, особенно, если регистрация непрерывная), при этом фиксируется глубина положения геофонов.

Такой подход позволяет уйти от большинства методических и теоретических недостатков метода преломлённых волн, а также удешевить стоимость получения скоростных данных по сравнению с традиционными инженерно-геофизическими методами [Шокальский, 2013]. Кроме того, появляется возможность регистрации лобового сопротивления, бокового трения, порового давле-



▲ Рис. 1. Принцип работы сейсмостатического зондирования.

ния и ряда дополнительных параметров, повышающих точность исследования.

Однако несмотря на все преимущества описанного подхода, в России применение данного метода сильно ограничено. Основная причина – дороговизна оборудования. Сегодня в России нет собственных производителей SCPT-оборудования, а импортное оборудование – дорого.

На рынке инженерных изысканий только одна организация предлагает SCPT-оборудование для проведения таких работ компания Фугро. На базе тяжелых установок статического зондирования на автомобильном шасси. Стоимость такого оборудования исключает возможность его приобретения для средних и мелких изыскательских организаций.

Несомненно, система SCPT-оборудования на базе малогабаритных навесных установок должна стать дешевле и доступнее. Учитывая возможности создания автономных регистраторов, реализованных в бескабельных системах наблюдения, можно отказаться от он-лайн регистрации, создав автономные средства регистрации. И тогда единственной серьезной технологической задачей станет доставка прибора до целевой глубины исследования. Учитывая то, что сегодня на рынке представлены установки статического электростатического зондирования, где эта задача решена, совмещение методов в одном приборе не видится чем-то невозможным.

Все элементы для создания российского SCPT-оборудования у существующих российских предприятий имеются: есть производители как зондов, так и малокабельной сейсмоакустической аппаратуры.

Возможные ограничения развития данной технологии в комплекс инженерных исследований вносят существующие стандарты проведения инженерных работ, требующие обязательного бурения скважин с отбором керна и исследованием грунтов в процессе бурения. Однако, включение метода SCPT в комплекс работ позволит существенно уменьшить объем бурения, снижая стоимость проекта для заказчиков.

Надеемся, что данная публикация найдет свой отклик как у заказчиков инженерных исследований, так и у разработчиков геофизической аппаратуры.

Литература

1. Галушкин И.В., Рагозин Н.А., Стенин Д.В., Игнатьев В.И. Опыт применения сейсмоакустических методов исследования для построения детальной модели среды при проектировании особо ответственных объектов атомного строительства // Инженерные изыскания. 2018. Т. 12. № 11-12.
2. Кочев А.Д., Чертков Л.Г. Использование методов сейсмоакустики на закарстованных территориях крупных городов (на примере Москвы и Нижнего Новгорода) // Инженерные изыскания. 2018. Т. 12. № 9-10. С. 50-62.
3. Кувалдин А.В., Романов В.В., Рахматуллин И.И. Сейсморазведочные исследования при строительстве // Профессиональное образование и общество. 2014. № 2 (10). С. 56-58.
4. Кулакова Н.В. Обзор существующих методов изучения ВЧР // Геология и полезные ископаемые Западного Урала. 2019. № 2 (39). С. 241-247.
5. Романов В.В. Применение амплитудных графиков при обработке и интерпретации данных метода преломленных волн для решения задач инженерной геологии // Известия высших учебных заведений. Геология и разведка. 2012. № 4. С. 56-60.
6. Романов В.В., Мальский К.С., Боровой Е.А. Определение устойчивости бортов карьеров при инженерно-геологических изысканиях // Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал). 2015. № 7. С. 77-81.
7. Шехтман Г.А. Обращенное вертикальное сейсмическое профилирование // В сборнике: Сейсмические технологии- 2017 материалы научно-практической конференции. ООО «Центр анализа сейсмических данных МГУ имени М.В. Ломоносова». 2017. С. 31-35.
8. Шокальский М.Ю. Методы статического зондирования грунтов CPTU, SCPT и RCPT: практика применения, анализа и обработки их результатов // Инженерные изыскания. 2013. № 8. С. 40-45.