

Повышение качества сейсмических данных и снижение рисков травматизма путем автоматизации и роботизации полевых работ

- А.В. Череповский, главный специалист НТЦ, ПАО «ГЕОТЕК Сейсморазведка»
- В.А. Овчинников, рук. отдела продаж и развития новых технологий, ГК «НьюТек Сервисез»

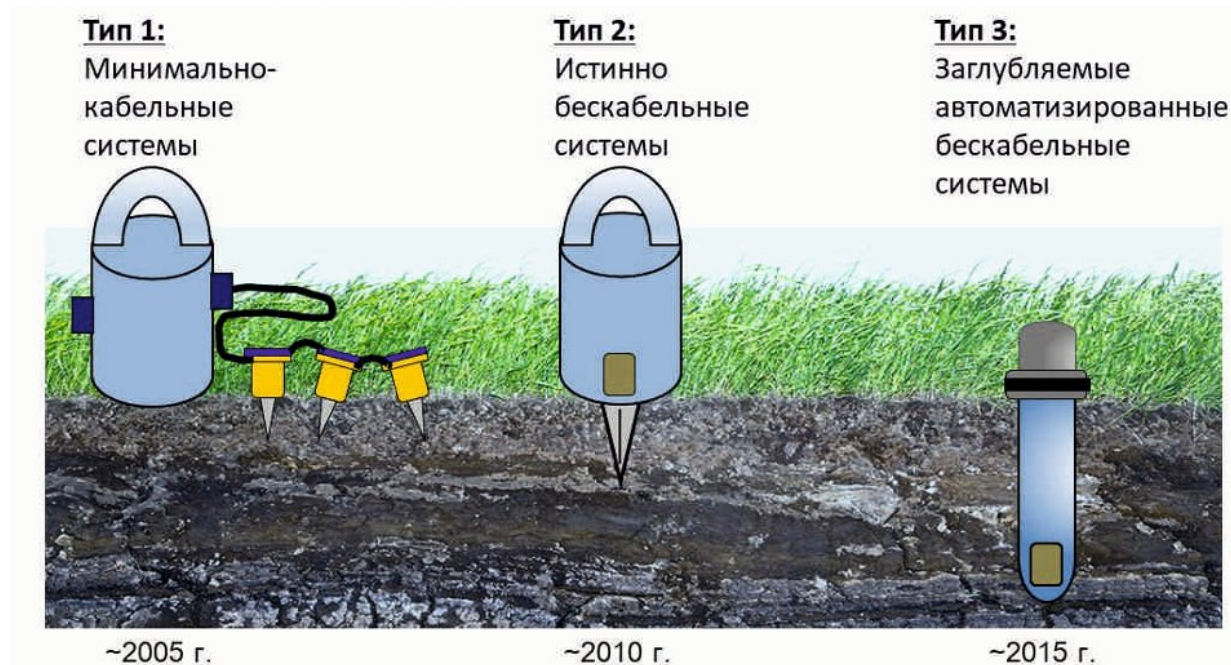
Три типа бескабельных систем

В начале нашего века началась очередная революция в наземной сейсморазведке, а именно переход на бескабельные регистрирующие системы. В течение последнего десятилетия был разработан и введен в эксплуатацию – преимущественно в Западном полушарии – целый ряд автономных и радиотелеметрических бескабельных систем нескольких типов [1], схематически изображенных на Рис.1.

Поначалу наибольшее распространение получили автономные модули первого типа – с подключением внешних групп обычных электродинамических сейсмоприемников или одиночных высокочувствительных сейсмоприемников. Во многих случаях также подключались внешние аккумуляторы для увеличения срока автономной работы модулей.

Чтобы повысить компактность автономных бескабельных систем и технологичность их установки, конструкторы разработали второй тип полевых модулей – со встроенными высокочувствительными геофонами. Таким образом, так называемые «минимально-кабельные» регистрирующие системы превратились в истинно бескабельные, в которых полностью отсутствовали соединительные кабели. Модули (или «ноды») второго типа были снабжены длинными штырями, обеспечивавшими контакт с грунтом.

Многочисленные опытные и производственные работы и сравнения с традиционными кабельными системами показали, что бескабельные регистрирующие системы первого и второго типа обеспечивают такое же качество данных, как и кабельные системы. Это ожидаемо,



▲ Рис. 1. Три типа бескабельных регистрирующих систем, разработанных и введенных в эксплуатацию в течение последних 10–12 лет.

поскольку методика и техника регистрации упругих колебаний на земной поверхности, в рыхлом слое почвы или в снегу, никак не изменилась. Соответственно, такие бескабельные регистрирующие системы не имели никаких преимуществ перед традиционными кабельными системами в условиях сильного ветра или дождя. Для снижения ветровой помехи «ноды» автономных систем иногда заглубляли и прикапывали с помощью кирки или лопаты, но это требует значительного времени и, соответственно, снижает производительность полевых работ.

И только 3 года назад появилась автономная бескабельная система третьего типа: это система NuSeis с регистраторами NRU, снабженными встроенными высокочувствительными приемниками, расположенными в нижней части обтекаемого сигарообразного корпуса длиной около 20 см (Рис.1). Очевидно, что такая конструкция обеспечивает преимущества в амплитуде и достоверности регистрируемых упругих колебаний благодаря почти полному заглублению регистраторов в грунт или плотный снег. Полевые эксперименты, выполненные в Америке консорциумом по изучению упругих волн (CREWES), показали, что отношение сигнал/помеха повышается на 3 дБ на каждые 10 см заглубления и прикапывания сейсмоприемника [2]. Не менее важно и то, что при заглублении существенно ослабляются резонансы в системе сейсмоприемник–грунт, тем более в случае относительно тяжелых регистраторов автономных бескабельных систем (весом от 1 до 2 кг).

В последние годы за рубежом растёт интерес именно к нодальным регистрирующим системам по следующим причинам:

- нодальные регистраторы имеют

меньший вес и размеры и, соответственно, требуют меньше транспортных средств и людей в сейсмопартии;

- нодальные регистраторы легче заглубить в грунт или утрамбованный снег, что решает следующие задачи:

- 1) повышение отношения сигнал/помеха благодаря снижению ветровой помехи, звуковой волны и других помех;

- 2) обеспечение сохранности регистрирующего оборудования, которое можно полностью замаскировать от посторонних глаз.

Лабораторные сравнения

Специалисты американской компании GTI выполнили новые лабораторные сравнительные эксперименты на вибростоле [3]. Цилиндрическая стальная труба высотой 50 см была приварена в стальной пластине, которая была прикручена 20-ью болтами к вибростолу (Рис.2). Это гарантировало, что в интересующем сейсморазведчиков диапазоне частот стальная труба и вибростол будут жестко связаны. В ходе эксперимента стальная труба заполнялась различными образцами грунта на высоту примерно 30 см. Грунт равномерно уплотнялся по мере заполнения трубы. Тестируемые сейсмоприемники и регистраторы устанавливались в грунт обычным образом, как при полевых работах. Высокочувствительный геофон с трехдюймовым штырем устанавливался так, чтобы нижний край его корпуса был ниже поверхности грунта. Что касается заглубляемого модуля NRU, то сначала для него создавалось цилиндрическое углубление в грунте диаметром 5 см, и в это углубление модуль NRU вдавливался вручную.

Чувствительный элемент в корпусе сейсмоприемника был идентичен тому, который был встроен в заглубляемый модуль. Это был 10-Герцовый вертикаль-



▲ Рис. 2. Высокочувствительный геофон и заглубляемый регистратор NRU в стальном цилиндре с уплотненным грунтом (слева). Контрольный геофон был приклеен (справа) к вибростолу, к которому жестко крепился стальной цилиндр.

ный электродинамический сейсмоприемник с высокой чувствительностью (78,7 В/(м/с)). Отклики обоих приемников оцифровывались абсолютно одинаковыми приборами. Весь лабораторный эксперимент был продуман так, чтобы контакт приемника с грунтом был единственной переменной в зарегистрированных данных.

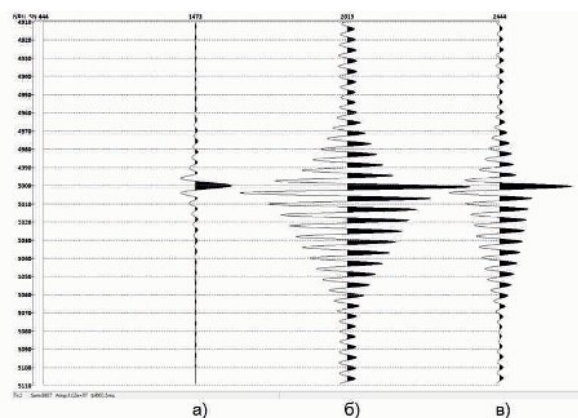
Контроллер вибростола был настроен так, чтобы обеспечивать возбуждение свип-сигналов с постоянной скоростью колебаний. В описываемом эксперименте самая низкая скорость колебаний была равна 0,25 мм/с, а самая высокая скорость – 10 мм/с. Свип-сигналы, при которых пиковая скорость колебаний частиц грунта была меньше, чем 0,25 мм/с, были ниже порогового уровня шума, вызываемого воздушным охлаждением вибростола.

Использовались линейные свип-сигналы с частотной разверткой вниз (от высоких частот к низким) со скоростью 10 Гц/сек. Хотя у вибростола проявлялись некоторые второстепенные резонансы, скорость возбуждаемых колебаний поддерживалась в пределах $\pm 20\%$.

Далее по результатам взаимной корреляции оценивались различия

между идеальным (управляющим) сигналом и откликами тестируемых сейсмоприемников, имеющих разный контакт с грунтом и разную глубину установки. Предполагалось, что сигнал от контрольного геофона, приклеенного к стальной плите, отражает скорость колебаний вибростола, т.е. является идеальным сигналом. Были проанализированы результаты автокорреляции входного сигнала, а также результаты кросс-корреляции сигналов, записанных геофоном и автономным модулем NRU (со встроенным геофоном), с входным сигналом. Для частотного диапазона 10–100 Гц все три импульса нуль-фазовые, с относительно малоамплитудными боковыми максимумами. Но для частотного диапазона 10–150 Гц тестируемые сигналы начинают попадать в область резонанса грунта, хотя все три сигнала по-прежнему синфазны. В этом случае импульс для автономного модуля имеет меньше побочных максимумов, и он более нуль-фазовый, чем импульс для обычного геофона. В частотный диапазон 10–175 Гц попадает резонансная частота грунта. В этом случае на результатах кросс-корреляции видна асимметрия и высокоамплитудные побочные максиму-

мы («звон») в случае применения обычного геофона (Рис.3).

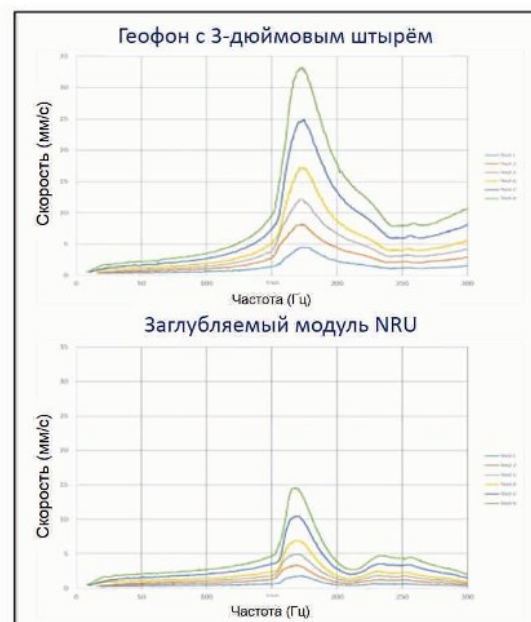


▲ Рис. 3. Формы импульсов, полученных для частотного диапазона 10-175 Гц в результате: а) автокорреляции сигнала приемника на вибростоле; б) взаимной корреляции сигнала приемника на вибростоле и обычного геофона, установленного в стальном цилиндре; в) взаимной корреляции сигнала приемника на вибростоле и заглубленного модуля. Интервал между марками времени равен 10 мс.

Резонансная частота для образца почвы из поймы реки была довольно постоянной и колебалась в диапазоне 167–174 Гц независимо от амплитуды свип-сигнала. Для данного типа почвы коэффициент усиления при резонансе (по сравнению с амплитудой линейного свипа) был равен 16–18 для обычного геофона и около 7 для заглубленного модуля со встроенным геофоном. Эти цифры достаточно устойчивы для различных амплитуд свип-сигнала.

Всего было опробовано четыре образца грунта при нескольких уровнях входного свип-сигнала. Самая низкая резонансная частота – чуть ниже 100 Гц – наблюдалась для садовой почвы, содержащей много органического материала. В данном эксперименте было установлено, что резонансная частота в первую очередь зависит от свойств почвы, а не от

конструкции корпуса приемника. Хотя характер резонанса менялся в зависимости от типа грунта, во всех случаях отклик автономного модуля NRU со встроенным геофоном был существенно сильнее демпфирован, чем отклик геофона на трехдюймовом штыре (Рис.4).



▲ Рис. 4. Сигналы (скорость в мм/с), записанные двумя тестируемыми приёмниками при разных амплитудах свип-сигнала. Диапазон частот от 0 до 300 Гц. Усредненное соотношение резонансов для четырех типов грунта было довольно постоянным и равным 1:2

Стоит подчеркнуть, что в описываемых лабораторных экспериментах свойства грунта не менялись с глубиной, поскольку грунт уплотнялся вручную, по мере заполнения тестового цилиндра. Поэтому результаты измерений в поле могут существенно отличаться от лабораторных экспериментов, так как в реальных условиях обычные сейсмоприемники на трехдюймовых штырях (7,5 см) устанавливаются в почву, верхние 5–10 см которой содержат много органики и имеют гораздо более низкую плотность и гораз-

до более низкие резонансные частоты, чем нижележащие слои грунта.

Автоматизированные установщики линий приема или «автоматоры»

Важная особенность конструкции заглубляемого модуля NRU – возможность механизации и автоматизации полевых работ. Колесные и гусеничные «автоматоры» различной конструкции (Рис.5), управляемые одним человеком, уже прошли полевые испытания в США и других странах и готовы к применению в различных поверхностных условиях, от песчаных пустынь до Арктики. Эти «автоматоры» позволяют по команде оператора-водителя выдавить (или, как вариант – пробить, просверлить) углубление в земле в заданной точке, сбросить туда модуль NRU из заранее заряженных кассет, и затем придавить (обжать) его для обеспечения хорошего контакта с грунтом. В настоящее время «автоматоры» должны останавливаться на 10–15 секунд для подготовки очередного пункта приёма, но близится выпуск беспилотного «динамического автоматора», который сможет устанавливать и собирать модули NRU на ходу, что резко повысит производительность полевых

работ.

В сложных поверхностных условиях, когда использование даже малогабаритных автотранспортных средств с низким давлением на грунт невозможно, предусмотрена ручная установка модулей NRU и их извлечение из земли с помощью специально разработанных инструментов (это скользящие молоты и мотобуры).

Выводы

Бескабельные системы третьего типа с автономными заглубляемыми регистраторами («нодами»), снабженными встроенными высокочувствительными геофонами, обеспечивают значительные преимущества в амплитуде и достоверности регистрируемого сигнала по сравнению с традиционными кабельными или бескабельными системами, в которых используются группы геофонов, устанавливаемых на поверхности земли, или одиночные высокочувствительные геофоны. Кроме того, конструкция заглубляемых регистраторов NRU удобна для механизации и автоматизации процесса их установки.

Автоматизированные комплексы



▲ Рис. 5. Автоматизированные прицепы на колесном или гусеничном ходу, несущие до 300 регистраторов NRU, вдавливаемых в грунт по команде оператора в специально подготовленные лунки.

(«автоматоры»), несущие до 300 модулей NRU, буксируются колесными или гусеничными малогабаритными вездеходами и снабжены дизелями и устройствами для подготовки глубоких лунок в земле, в которые потом вдавливаются модули. Новая технология выполнения полевых работ с автоматизированной установкой заглубляемых регистраторов, а также с их автоматизированным сбором, зарядкой внутренних аккумуляторов и бесконтактным считыванием сейсмической информации во время транспортировки модулей, позволит резко сократить численность сейсморазведочных партий и повысить производительность и безопасность полевых работ.

Благодарности

Авторы выражают благодарность компании Geophysical Technology Inc. (GTI) за разрешение опубликовать результаты их лабораторных исследований. Анализ данных, полученных в ходе лабораторных экспериментов, был выполнен с использованием пакета программ RadExPro российской компании ДЕКО Геофизика.

Литература

1. Череповский, А.В., 2017, Наземная сейсморастведка нового технологического уровня. Издание второе, дополненное. М., ЕАГЕ Геомодель. – 252 с.
2. Bland H.C. and Gallant E.V., 2001, Wind noise abatement for 3-C geophones. CREWES Research Report, Volume 13.
3. Fleure T., Halvorson W., and Miller R., 2017, Receiver ground coupling revisited; a laboratory experiment to investigate the effects of an autonomous nodal recording system. 87th SEG Annual Meeting, Expanded Abstracts.

Подробнее об авторах:



Череповский
Анатолий Викторович,

Главный специалист
НТЦ компании ГЕОТЕК
Сейсморастведка. Ранее
– эксперт по сейсмо-
растведке ГК
«НьюТек Сервисез».

Автор образовательного
онлайн курса лекций
по современной
наземной сейсморастведке.
Автор англо-русского
и русско-английского
словаря по прикладной
геофизике



Овчинников
Василий Андреевич

Руководитель отдела про-
даж и развития новых тех-
нологий ГК «НьюТек
Сервисез».
Выпускник МГТУ
им. Н. Э. Баумана,
специалист по
ультразвуковому
методу контроля