

Перспективы бескабельных регистрирующих систем в наземной сейсморазведке

Введение

Несмотря на свою более чем 100-летнюю историю (если за начало отсчёта принять первый патент на метод преломлённых волн, поданный в США в 1914 году), наземная сейсмическая разведка продолжает бурно эволюционировать и каждые 5-10 лет мы наблюдаем появление и внедрение новых аппаратурных комплексов или методических решений.

В последнее время на различных конференциях и форумах всё чаще говорится о бескабельных регистрирующих системах и о том, что именно за такими системами будущее наземной сейсморазведки. По-видимому, феноменальный успех сотовой телефонной связи позволяет многим экспертам нашей отрасли надеяться и на широкое внедрение беспроводной передачи сейсмических данных. Например, в пресс-релизе НК «Роснефть» от 2 сентября 2016 г. объявлено, что в течение двух лет будут завершены работы по созданию инновационной беспроводной системы сбора сейсмических данных. Проект будет выполнен в партнёрстве с иностранными компаниями, BP и WesternGeco. Ожидается, что новая технология «станет прорывом в сфере проектирования и проведения сейсморазведки 2D и 3D и обеспечит сокращение сроков проведения полевых работ и снижение стоимости сейсмических данных в труднодоступных регионах и сложных климатических условиях».

Преимущества целого семейства предлагаемых в настоящее время бескабельных систем по сравнению с традиционными кабельными системами пока не доказаны при выполнении производственных работ 3D в России, но результаты опытных работ, проведённых СКБ СП

■ Череповский А.В., лектор EAGE, г.Москва

совместно с ОАО «Ставропольнефтегеофизика» и представленные на конференции «Геофест» в Конаково (2015 г.), весьма многообещающие. Было заявлено, что отечественная бескабельная система SCOUT имеет следующие преимущества перед кабельными системами:

- на 50% меньше персонала при расстановке оборудования;
- на 40% быстрее расстановка оборудования на профиле;
- на 50% меньше транспортных средств;
- на 30% быстрее выполнение проекта.

Опираясь на такие высокие ожидаемые показатели, сторонники бескабельной сейсмики называют сторонников традиционных кабельных регистрирующих систем «извозчиками, бастующими против производства автомобилей»! Но давайте объективно рассмотрим особенности функционирования бескабельных систем разной конструкции и возможные препятствия на пути завоевания ими главенствующей роли при наземной сейсморазведке 3D в России.

Немного истории

В последние годы мы наблюдаем становление не первого, а как минимум второго поколения бескабельных систем [2]. Бескабельная передача данных в реальном времени – это давняя мечта сейсморазведчиков и их заказчиков, и первые попытки разработать радиотелеметрические регистрирующие системы были сделаны примерно 25 лет назад. И уже около 20 лет назад появилось первое поколение регистрирующих систем, использующих радиосвязь в диапазоне метровых волн (200–250 МГц), с радиусом действия до нескольких десятков км. Такие системы предполагалось приме-

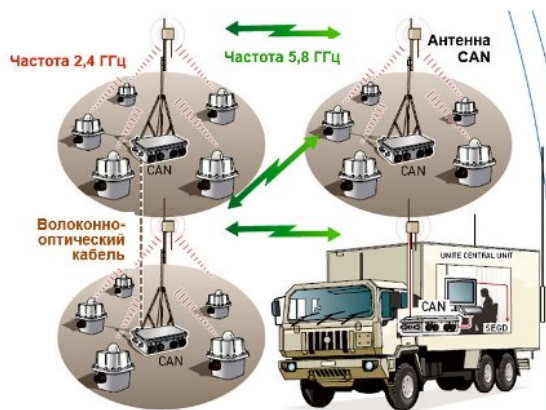
нять в сложных поверхностных условиях (реки, овраги, холмы, заповедники) или в условиях развитой инфраструктуры (нефтепромысловые сооружения, трубопроводы, шоссе, промышленная и жилая застройка), где сложно проложить непрерывные кабельные приёмные линии. Для снижения стоимости радиотелеметрических систем их модули (автономные станции) были многоканальными – от 4 до 8 каналов. Питание модулей осуществлялось с помощью внешних аккумуляторов. Кроме того, каждый модуль имел соединения с несколькими группами сейсмоприёмников.

Первое поколение бескабельных систем с радиотелеметрией не стало массовым и не изменило ситуацию в наземной сейсморазведке 3D. Внедрение радиотелеметрических систем, таких как I/O RSR, Fairfield BOX и Eagle Opseis, сдерживалось их высокой стоимостью, необходимостью получения разрешений на радиосвязь в СВЧ-диапазоне, необходимостью установки и переноса по площади антенн довольно большой высоты, недостаточной скоростью передачи данных, сложностью комбинирования с кабельными системами, высоким потреблением электроэнергии и всё ещё довольно большим количеством соединительных кабелей.

Сотовая сейсмика

Важнейшим моментом для успешной разработки бескабельных систем второго поколения стало появление дешёвых и высокочувствительных приёмников сигналов глобальных навигационных спутниковых систем (ГНСС), среди которых наибольшей популярностью обладает американская GPS. Как правило, GPS-приёмники в автономных модулях предназначены не для определения координат (поскольку точность, требуемая для

сейсморазведочных работ, обеспечивается дифференциальной глобальной спутниковой системой DGPS), а для синхронизации (хронирования) записываемых отсчётов сейсмических трасс. Это ключевой момент, который открыл дорогу автономной регистрации данных с использованием неограниченного количества модулей.



▲ Рис. 1. Бескабельная «сотовая» сейсмика 3D с автономными модулями. Данные передаются в реальном времени на двух частотах с использованием стандартов Wi-Fi.

Сетевой (сотовый) подход к регистрации сейсмических данных 3D считался наиболее перспективной реализацией бескабельной системы 12-15 лет назад [4]. Этот подход был впервые осуществлён шотландской компанией Vibtech (позднее подразделение компании Sercel) в 2002 году. Конструкторы компании Vibtech поставили перед собой смелую задачу: разработать систему, не имеющую ограничений по количеству каналов и использующую стандарты Wi-Fi для передачи данных в (почти) реальном времени с использованием нелицензируемых диапазонов гигагерцовых радиочастот.

На рис.1 схематически показано, что в пределах активной расстановки, состоящей из нескольких сотен или тысяч автономных одноканальных модулей, пред-

полагалось устанавливать сеть антенн с перекрывающимися радиусами действия (не более 1000 м на открытой местности). Каждая антенна считывает данные из своей «соты», включающей две-три сотни модулей, на частоте 2,4 ГГц. Далее накопленные данные могут передаваться от одной антенны к другой, вплоть до сейсмостанции, по радиоканалам с большей пропускной способностью (на частоте 5,8 ГГц). Две указанные частоты имеют свои преимущества и недостатки, перечисленные в таблице 1.

выполнении десятков небольших производственных съёмок 3D, главным образом в Северной Америке, Великобритании и Австралии, технология не доказала своих преимуществ перед кабельными системами при выполнении крупных съёмок 3D.

Трудности и ограничения были похожими на те, которые были свойственны ОБЧ-радиосистемам первого поколения: значительное время уходило на передачу данных и на достижение устойчивой радиосвязи при перемещении приёмной расстановки и антенн по площади исследований.

Частота	Преимущества	Недостатки
2,4 ГГц	- Лицензия во многих странах не требуется или её проще получить - Больше радиус действия - Меньше чувствительность к растительности - Более широкое использование	- Ниже скорость передачи данных (до 50 Мбит/с) - Меньше радиоканалов - Физически более крупные антенны
5,8 ГГц	- Высокая скорость передачи данных (до 300 Мбит/с) - Большое количество радиоканалов во многих странах	- Сложно получить лицензию в некоторых странах - Ограничения по мощности излучения во многих странах - Высокая чувствительность к растительности - Радиус действия небольшой без направленных антенн - Необходима высокая квалификация обслуживающего персонала

▲ Табл. 1. Сравнительные преимущества и недостатки двух диапазонов частот стандарта Wi-Fi.

Для тех ситуаций, когда передача данных между антеннами на частоте 5,8 ГГц затруднена из-за изрезанного рельефа местности, высокого и густого леса или даже из-за дождя и мокрой листвы, имеется альтернативное решение – волоконно-оптический кабель, аналогичный тем, которые используются в качестве «трансверсов» (или «хребтов») в кабельных регистрирующих системах.

Хотя проект «сотовая сейсмика» был воплощён в жизнь и радиотелеметрический режим применялся несколько лет при

Стало понятно, что до начала полевых работ необходим подготовительный этап, на котором тщательно изучаются возможные помехи для радиосвязи на площади исследований. Для того, чтобы спрогнозировать радиус надёжной радиосвязи, нужно построить цифровую модель местности, выделить основные типы препятствий (леса и парки, города и деревни, сельскохозяйственные угодья, эстакады и мосты), их контуры и среднюю высоту препятствий. Эту работу можно выполнить с использованием бесплатного програм-

много обеспечения, такого как “RadioMobile”. В качестве входных данных за рубежом иногда используют результаты спутниковой радиолокации (SRTM), которая уверенно картирует объекты размером от 30 м и больше. На территории России точность этих данных гораздо ниже (порядка 300 м), что явно недостаточно для целей планирования бескабельных сейсмических исследований. Поэтому для построения точной цифровой модели местности и районирования радиопомех может понадобиться воздушная съёмка LIDAR (оптико-механическое сканирование местности лазерным излучением, пульсирующим с частотой порядка 150 кГц).

В настоящее время сотовую сейсмику можно реализовать с такими бескабельными системами как UNITE (компания Sercel) и Hawk (компания Inova). По сведениям из Интернет-журнала “Digital Energy Journal” (15 июля 2016 г.), в начале 2016 года в залесённой холмистой местности в Аппалачах предстояло отработать съёмку с 2678 модулями системы Hawk. Специалисты подрядчика оценили, что для передачи данных в реальном времени понадобилось бы 60 антенн, которые сложно устанавливать и переносить по площади, не прерывая процесс сбора данных. А для оптимизации сети антенн по ходу съёмки мог понадобиться метод проб и ошибок. Поэтому, несмотря на привлекательность идеи передачи данных в реальном времени, в описываемом случае подрядчик предпочёл вариант автономной регистрации данных и их периодического сбора для контроля качества и предобработки.

Важен также правовой аспект, мало обсуждаемый в геофизической литературе. Если во многих странах можно беспрепятственно создавать сети Wi-Fi там, где новые пользователи не мешают ранее зарегистрированным пользователям и

экстренным службам (скорая помощь, пожарная служба и т.п.), то в Российской Федерации на организацию сетей Wi-Fi за пределами зданий и производственных территорий накладываются серьёзные ограничения. Решение Государственной комиссии по радиочастотам (ГКРЧ) от 29 февраля 2016 г. № 16-36-03 позволяет использовать оборудование беспроводных локальных сетей малого радиуса действия стандартов IEEE 802.11b, 802.11g, 802.11n с эквивалентной изотропно-излучаемой мощностью (ЭИИМ) **не более 100 мВт** вне закрытых помещений в диапазоне частот **2400-2483,5 МГц** без оформления отдельных решений ГКРЧ и разрешений на использование радиочастот или радиочастотных каналов. Однако требуется зарегистрировать используемые радиоэлектронные средства (РЭС) в том случае, если высота установки радиоэлектронных средств превышает **10 м от поверхности земли**. В каждом федеральном округе России имеется филиал Радиочастотного центра (РЧЦ), который обеспечивает надлежащее использование радиочастотных каналов, радиоэлектронных средств и высокочастотных устройств гражданского назначения.

Шаг назад: «полуслепая» бескабельная сейсмика.

Описанные выше ограничения и трудности с достижением устойчивой радиосвязи в гигагерцовом диапазоне, особенно в условиях пересечённого рельефа местности и густого и высокого леса, натолкнули на мысль отказаться от идеи передачи всех данных в реальном времени. В результате был предложен и реализован подход, который за рубежом называли «полуслепой сейсмикой»: на сейсмостанции ставится единственная антенна, которая собирает данные с ближних каналов приёмной расстановки 3D в

реальном времени (на частоте 2,4 ГГц), а дальние каналы пишутся автономно. Синхронизация (хронирование) сейсмических отсчётов, разумеется, обеспечивается с помощью той или иной спутниковой навигационной системы: американской GPS, российской Глонасс или китайской Бэйдоу (в Сибири и на Дальнем Востоке).

Если Заказчик не согласен с отсутствием оперативной информации об уровне микросейсм и отношении сигнал/помеха на дальних каналах расстановки, то можно оценивать эти параметры косвенно, путём использования анемометров, как показано на рис.2.



▲ Рис. 2. Режим «полуслепой» сейсмики 3D. Ближние каналы передаются в реальном времени по Wi-Fi благодаря антенне на сейсмостанции. Дальние каналы регистрируют данные автономно, и они считываются периодически с помощью передвижных антенн.

В действительности, анемометры применялись в Мексике при производственных съёмках 3D с бескабельной системой UNITE. Там Заказчик требовал периодически собирать все данные и доставлять их на базу партии в течение 2 суток после регистрации. Эта задача решалась путём использования планшетных компьютеров и передвижных антенн, установленных на внедорожниках или аэроботах (на заболоченных участках).

Два шага назад: «слепая» бескабельная сейсмика.

Высокая надёжность современных автономных регистрирующих систем позволяет выполнять «слепые» сейсмические съёмки 3D, то есть при полном отсутствии беспроводной связи. В этом случае подрядчик и Заказчик ничего не знают о состоянии вынесенных на профиль автономных модулей и не получают сейсмических данных для контроля качества в реальном времени. Полный отказ от радиосвязи позволил разработать более дешёвые и более компактные регистрирующие системы, такие как GSR/GSX компании Geospace Technologies и ZLand компании Fairfield Nodal, которые и стали наиболее продаваемыми в Западном полушарии в последние 5-6 лет.

Особенность современной наземной сейсморазведки в США и некоторых других странах Америки заключается в том, что там выполняется много «спекулятивных» сейсмических съёмок (чаще всего на сланцевый газ и сланцевую нефть), при которых геофизические компании по своей инициативе отрабатывают те или иные перспективные территории с целью продать обработанные массивы данных заинтересованным нефтегазовым компаниям.

В модели «спекулятивной» съёмки нет места супервайзеру, поэтому ни оперативный, ни периодический контроль уровня шума окружающей среды и качества полевых данных не обязательны или, по крайней мере, не критичны.

В тех случаях, когда контроль помех окружающей среды всё же требуется, используются различные решения, в зависимости от предпочтений Заказчиков и подрядчиков и имеющегося у них оборудования. А именно, основная «слепая» регистрирующая система дополняется следующим образом:

1) дублирование автономных модулей на одном или нескольких участках площади работ такими же модулями. Продублированные модули снимают и доставляют для чтения данных на базу партии каждый день или несколько раз в день в отличие от модулей в основной расстановке, где данные могут автономно регистрироваться без контроля одну-две недели. Естественно, этот вариант не обеспечивает непрерывного мониторинга шума окружающей среды;

2) вспомогательная кабельная система 2D из нескольких десятков или первых сотен каналов. Раскладывается, как правило, поперёк приёмных линий, состоящих из автономных модулей, и обеспечивает контроль шума окружающей среды в реальном времени в центральной части приёмной расстановки;

3) вспомогательная радиотелеметрическая система из нескольких десятков или первых сотен модулей RT2. Модули устанавливаются, как правило, компактно

▼ Табл. 2. Условия выполнения и параметры нескольких крупных «слепых» бескабельных съёмок в Северной и Южной Америке.

Регион	Аляска	Аляска	Боливия	Перу
Сроки работ	зима 2013–14	зима 2013–14	2014	2014
Природные условия	заснеженная тундра	заснеженная тундра	предгорья Анд, густой лес	высокий тропический лес
Температура воздуха, С	от -25 до -50	от -25 до -50	неизвестно	неизвестно
Площадь работ, кв.км	395	580	543	210
Источник	12 вибраторов АНВ-IV	10 вибраторов АНВ-IV 380	взрыв, 1 скважина 15 м	взрыв, 1 скважина 15 м
Методика работ	slip–sweep	slip–sweep		
Автономная регистрирующая система	Geospace GSX	AutoSeis HDR1C	Geospace GSX	Geospace GSX
Кол-во модулей	14000	18000	27000	19000
Кол-во активных каналов	неизвестно	неизвестно	16 x 800 = 12800	24 x 276 = 6624
Приёмники	одиночный SG-5	3 x SG-10	одиночный GS-One	одиночный GS-One
Плотность трасс на кв.км	2550000	2550000	1032000	425000
Периодичность сбора данных	неизвестно	неизвестно	несколько дней	несколько дней
Мониторинг помех в реальном времени	300 модулей RT2, поперёк приёмных линий	Кабельная система Sercel-428XL, поперёк приёмных линий	160 модулей RT2, компактно на одной линии приёма	неизвестно

на одной из приёмных линий вблизи сейсмостанции (в пределах действия антенны Wi-Fi).

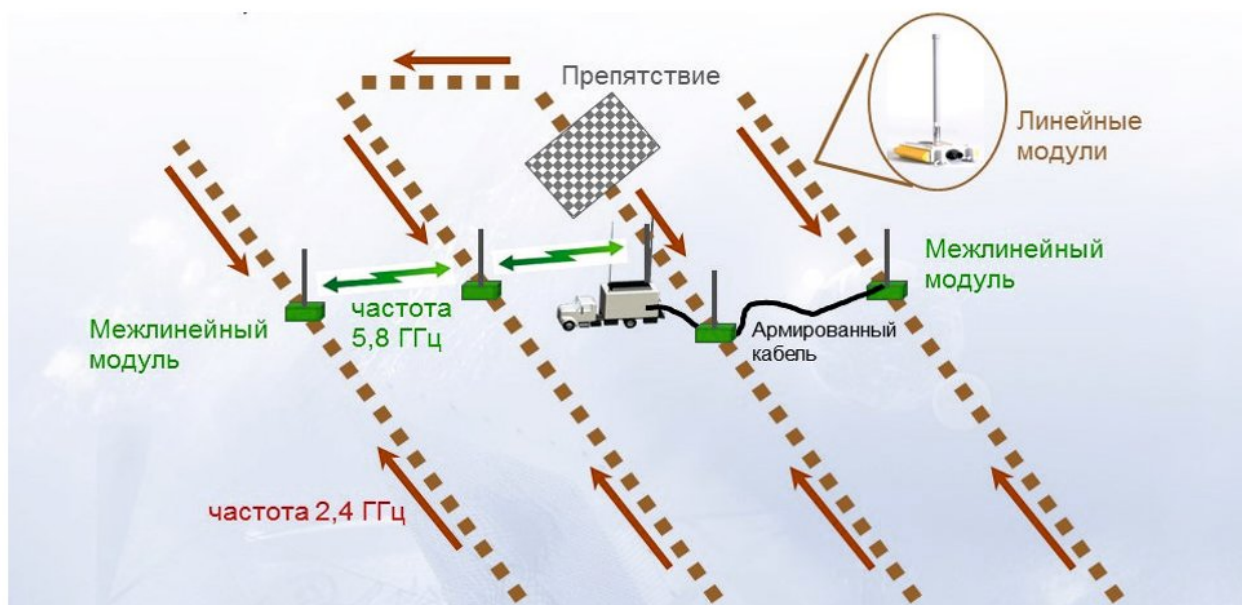
Все эти три варианта мониторинга шума окружающей среды применялись при «слепых» производственных съёмках, перечисленных в таблице 2. Наиболее сложно мониторинг шума был организован при сейсмической съёмке 3D в предгорьях Анд в Боливии, где применялось сразу две вспомогательные регистрирующие системы: 160 радиотелеметрических модулей RT2 недалеко от базы партии и продублированные (часто снимаемые) автономные модули GSX, установленные на 5 участках дальних приёмных линий [3].

Радиорелейная регистрирующая система.

В обширном семействе современных бескабельных систем особняком стоит радиотелеметрическая система RTS2 компании Wireless Seismic. Представители этой компании полагают, что они сделали

шаг вперёд в сейсморазведке [1], заменив последовательную передачу данных в приёмной расстановке от канала к каналу по кабелям такой же последовательной передачей данных от модуля к модулю по радио на частоте 2,4 ГГц (Рис.3). По сути, это радиорелейная регистрирующая система, которая по определению не может обеспечить режим реального времени из-за передачи накапливаемого массива сейсмических данных по линиям приёма. Судя по результатам опытных работ 3D в ЯНАО, общая задержка передачи данных при количестве активных каналов менее 1000 (на 4 линиях приёма) и оптоволоконном поперечном кабеле составляла несколько секунд. Расчёты показывают, что общая задержка передачи данных при количестве активных каналов 7-8 тысяч и бескабельной передаче по «трансверсу» на частоте 5,8 ГГц может составлять несколько минут, что приемлемо только для взрывных сеймопартий. Для радиопередачи данных по «трансверсу» необходимо устанавливать

▼ Рис. 3. Бескабельная сейсмика 3D с радиорелейной передачей данных по Wi-Fi в почти реальном времени. Для повышения скорости передачи данных может использоваться поперечный оптоволоконный армированный кабель.



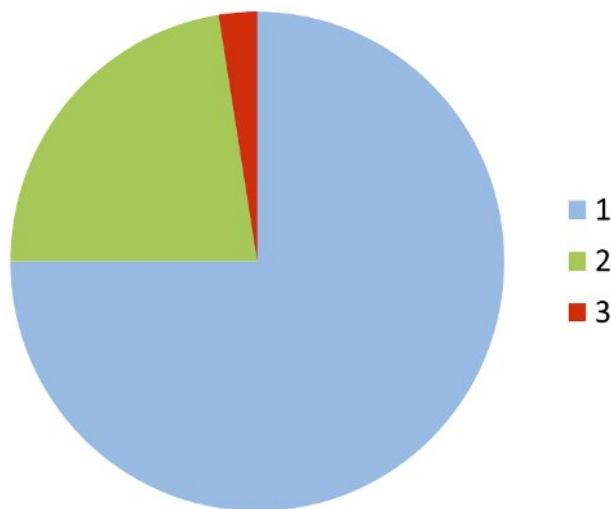


Рис. 4. Доля различных модификаций бескабельных регистрирующих систем на мировом рынке по состоянию на конец 2015 г.:

- 1 – «слепые» (нодальные) автономные системы (75%);
- 2 – «полуслепые» автономные системы (22,5%);
- 3 – радиорелейная система (2,5%).

высокие направленные антенны (7-8 метров и выше) с тремя-четырьмя растяжками, что весьма затруднительно в условиях узких просек и глубокого снежного покрова при выполнении зимних съёмок в России. Растяжки охватывают большую площадь и создают препятствия для проезда техники и прохода людей.

Представители компании Wireless Seismic заявляют, что важнейшими преимуществами бескабельной системы RTS2 являются снижение антропогенного воздействия на окружающую среду и повышение уровня промышленной безопасности благодаря снижению рисков травматизма, связанных с рубкой леса. Заявленная исключительность системы RTS2 – в отношении отказа от рубки леса по линиям приёма – непонятна, поскольку вес используемого оборудования и возможности его раскладки в условиях леса и глубокого снега мало отличаются как для других бескабельных («полуслепых» и «слепых») систем, так и для доминирующих ныне кабельных систем.

Системе RTS2 принадлежит пока очень небольшой сегмент рынка по общему количеству проданных каналов (Рис.4). Эта бескабельная система в настоящее

время используется преимущественно в небольших конфигурациях:

- 1) как самостоятельная система для мониторинга гидроразрыва пласта (ГРП) или подземных газохранилищ;
- 2) как вспомогательная система для мониторинга помех окружающей среды при «слепых» бескабельных наземных съёмках.

Настоящее и будущее бескабельных систем.

Основным мотивом внедрения инновационных регистрирующих систем является экономическая целесообразность. Также немалую роль играют факторы охраны труда и защиты окружающей среды.

Размотка кабелей на площадях с развитой инфраструктурой или сложным рельефом часто представляет собой неразрешимую проблему. Кроме того, в некоторых регионах частые повреждения кабелей обусловлены дикими животными или недружественным местным населением. Этими факторами объясняется растущий интерес Заказчиков к бескабельным регистрирующим системам с автономной регистрацией данных или с их передачей на центральную электронику в (почти) реальном времени.

Надо отметить, что кабельные системы продолжают совершенствоваться, и их возможности и надёжность всё время повышаются. Сейсмопартии с кабельным оборудованием обеспечивают высокую производительность полевых работ с приёмными расстановками, площадь которых нередко составляет от 250 до 400 кв. км при работах 3D на открытой местности в северной части Африки и на Ближнем Востоке. В настоящее время отдельные сейсморазведочные компании располагают кабельными системами, способными регистрировать в реальном времени более 100000 каналов с шагом дискретизации 1 или 2 мс. И это реально востребованные на рынке конфигурации, например, объявляемые в тендерах на проведение сейсмических работ 3D с одиночными приёмниками в Кувейте, Саудовской Аравии и других странах Ближнего Востока. Таким образом, кабельные системы продолжают расширяться и ещё не достигли предела своих возможностей. Они по-прежнему преобладают на мировом рынке (кроме США, что выше получило объяснение) и мы полагаем, что бескабельные системы не смогут стать доминирующими в ближайшее десятилетие.

Бескабельные системы сбора сейсмических данных, прежде всего, расширяют линейку имеющихся у сейсморазведчиков инструментов для выполнения работ любой сложности. Исходя из современного уровня развития кабельных и бескабельных систем, во многих ситуациях целесообразно их совместное использование в гибридных (комбинированных) приёмных расстановках [2].

Высокая плотность наблюдений позволяет смягчить требования к допустимому уровню шума окружающей среды (микро-

сейсмам) и к соотношению С/П на исходных записях. Если эта концепция будет принята российскими Заказчиками, то более дешёвые «слепые» и «полуслепые» автономные системы получат распространение в России, как это уже произошло в США и некоторых других странах Северной и Южной Америки.

Литература

1. Кузьмичев В.Е., 2014, Время сделать следующий шаг в сейсморазведке. – Приборы и системы разведочной геофизики, Саратов, №04(50)/2014, с.50–58.
2. Череповский А.В., 2016, Наземная сейсморазведка нового технологического уровня. – Москва, EAGE Геомодель, 230 с.
3. Munoz P.A., Rodriguez L., Parrado R. et al., 2015, Operational challenges of nodal 3D seismic acquisition in the sub-Andean environments. – 77th EAGE Conference & Exhibition, Madrid, 1–4 June 2015.
4. Smith J.F., 2006, How a new cable-less land seismic survey acquisition system was born. – First Break, Vol.24, Feb.2006, p.79–81.

Подробнее об авторе



Череповский
Анатолий Викторович

лектор Европейской
ассоциации геоученых
и инженеров (EAGE), к.т.н.