

Контроль качества в современных бескабельных регистрирующих системах

- Абдулвалиев М.Т., технический директор НТЦ, ПАО «ГЕОТЕК Сейсморазведка»
- Тиссен А.П., вице-президент по науке ПАО «ГЕОТЕК Сейсморазведка»
- Череповский А.В., главный специалист НТЦ, ПАО «ГЕОТЕК Сейсморазведка»

В последние 10-12 лет бескабельные системы регистрации всё шире применяются при наземных сейсмических исследованиях, особенно в Западном полушарии и в Австралии. В России кабельные регистрирующие системы по-прежнему доминируют, и это связано не только с природно-климатическими условиями, но и с консервативным отношением Заказчиков сейсморазведочных работ к контролю качества сейсмических данных в реальном времени. Несмотря на то, что в последние десятилетия сейсморазведка пережила несколько технологических революций, благодаря которым количество регистрируемых каналов и плотность наблюдений (в количестве трасс на 1 кв.км съемки 3D) увеличились на два-три порядка, критерии приемки исходных данных и оценки их качества до сих пор не пересмотрены, что тормозит дальнейшее развитие наземной сейсморазведки и снижает ее экономическую эффективность. В статье анализируются различные подходы к контролю качества в современных бескабельных системах.

Введение

Как известно, сейсмические исследования, как эффективное средство поисков и разведки месторождений полезных ископаемых в осадочном чехле, начали выполняться еще в 20-е и 30-е годы прошлого века. За десятки лет скачкообразного развития наземной сейсморазведки был разработан и внедрен в производство целый ряд методов и технологий полевых работ, к важнейшим из которых можно отнести цифровую регистрацию данных, методику общей глубинной точки (МОГТ), площадные системы наблюдения (3D), многоволновую сейсморазведку (МВС) и т.д. [3]. Наиболее быстро растущим показателем было количество каналов, регистрируемых одной сеймостанцией. К началу нашего столетия этот показатель вырос от нескольких десятков до нескольких тысяч, а на отдельных проектах — до нескольких десятков тысяч. В последние три-четыре года тенденция к повышению плотности наблюдений 3D только усиливалась, и перспектива применения до 1 миллиона каналов в одной наземной мега-партии становилась все реальнее [4].

Соответственно, общая длина соединительных кабелей для передачи сейсмических данных неуклонно увеличивалась и достигала сотен км. Логистика в мега-партиях (или сверхмногоканальных партиях) стала очень сложной, поскольку общий вес наземной электроники измерялся десятками тонн, а для ее перевозки, установки и поддержания функционирования были необходимы сотни людей и тяжелые транспортные средства, что ограничивало производительность полевых работ и приводило к высоким операционным затратам.

Разработка бескабельных регистрирующих систем стала очередной технологической революцией, открывшей широкие возможности не только для снижения веса наземной электроники и сокращения численности наземных сеймопартий, но и для принципиального пересмотра традиционных методик полевых работ и критериев оценки качества исходных данных. В первую очередь, переход на бескабельную регистрацию сейсмических данных стал возможен благодаря появлению дешёвых и высокочувствительных приёмников сигналов глобальных навигационных

спутниковых систем (ГНСС), среди которых наибольшей популярностью обладает американская GPS и российская ГЛОНАСС. При этом ГНСС-приёмники в автономных модулях бескабельных систем, как правило, предназначены не для определения координат (поскольку точность, требуемая для сейсморазведочных работ, обеспечивается дифференциальной спутниковой системой, такой как DGPS), а для синхронизации записываемых отсчётов сейсмических трасс. Это ключевой момент, который открыл дорогу автономной регистрации данных с использованием неограниченного количества каналов.

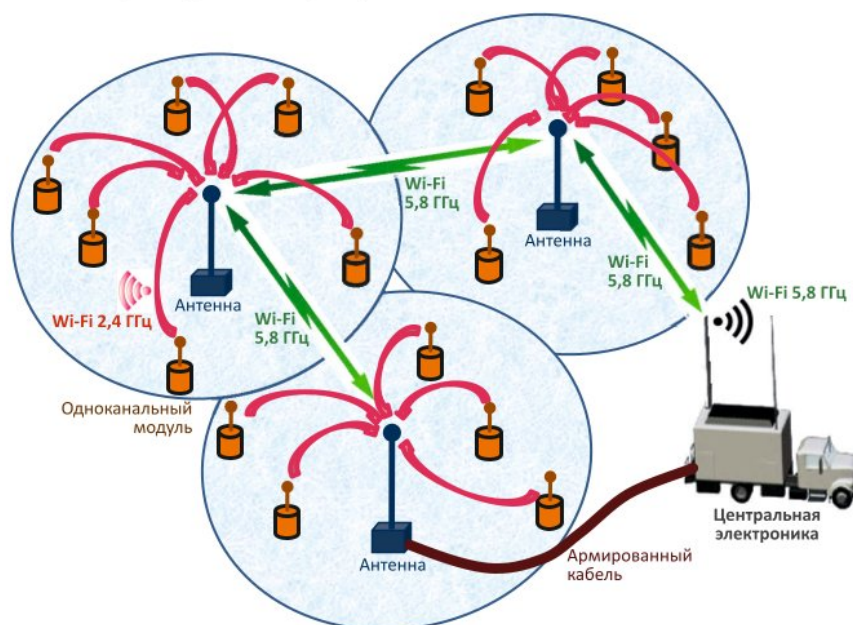
Радио вместо кабелей?

Конструкторы первых бескабельных систем стремились сохранить главное преимущество кабельных регистрирующих систем, а именно возможность передачи сейсмических данных в реальном времени на «центральную электронику», где оператор или супервайзер могли вручную или с помощью автомати-

зированных программных средств оценить качество каждой исходной сейсмограммы и, если нужно, внести коррективы в ход сейсморазведочных работ.

Для беспроводной передачи сейсмических данных предпочтение было отдано сетям на основе технологии Wi-Fi, использующей гигагерцовые частоты. Такой подход к сбору данных, впервые предложенный в 2002 году шотландской компанией VibTech, назвали «сотовой сейсмикой» [8]. Предполагалось, что антенны, поставленные с определенным шагом в пределах приемной расстановки, будут собирать данные в своих «сотах» на частоте 2,4 ГГц, а затем передавать накопленные массивы данных – но уже на частоте 5,8 ГГц, обладающей гораздо более высокой пропускной способностью, – на центральную электронику (рис.1). Необходимо отметить, что из-за ограниченного радиуса действия технологии Wi-Fi, на площади работ 3D необходимо устанавливать и перемещать десятки антенн и источники

▼ Рис. 1. Схема беспроводной передачи данных в реальном времени по технологии «сотовая сейсмика». Для передачи больших массивов данных может использоваться как Wi-Fi на частоте 5,8 ГГц, так и армированные кабели.



их питания, что требует привлечения дополнительного персонала с соответствующей квалификацией.

Кроме того, в условиях гористой и лесистой местности радиус надежной радиосвязи в гигагерцовом диапазоне очень трудно спрогнозировать перед началом полевых работ. Чтобы избежать потери времени на подбор шага установки антенн способом «проб и ошибок» непосредственно в ходе выполнения полевых работ, нужен подготовительный этап, на котором тщательно изучаются возможные помехи для радиосвязи и выделяются основные типы препятствий (леса и парки, города и деревни, сельскохозяйственные угодья, эстакады и мосты), их контуры и средняя высота. Для построения точной цифровой модели местности и районирования радиопомех может понадобиться воздушная съёмка LIDAR (оптико-механическое сканирование местности лазерным излучением).

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 исполь-

зование радиочастот или радиочастотных каналов. Однако требуется зарегистрировать используемые радиоэлектронные средства (РЭС) в том случае, если высота установки РЭС превышает 10 м от поверхности земли. В каждом федеральном округе России имеется филиал Радиочастотного центра, который обеспечивает надлежащее использование радиочастотных каналов, радиоэлектронных средств и высокочастотных устройств гражданского назначения.

Наиболее известными бескабельными системами, пригодными для «сотовой» сейсмологии, являются UNITE компании Sercel и Hawk компании Inova. Хотя эти регистрирующие системы применялись при выполнении десятков небольших производственных съёмок 3D, главным образом в Северной Америке, Великобритании и Австралии, радиотелеметрия не доказала своих преимуществ перед традиционными кабельными системами, особенно при выполнении крупных съёмок 3D. Несмотря на спад интереса к «сотовой сейсмологии» в последние годы, такой подход заложен в новой нодальной бескабельной системе RT3, разработанной компанией Wireless Seismic и ориентированной на выполнение высокоплотных проектов 3D с сокращённым интервалом между каналами (не более 25 м).

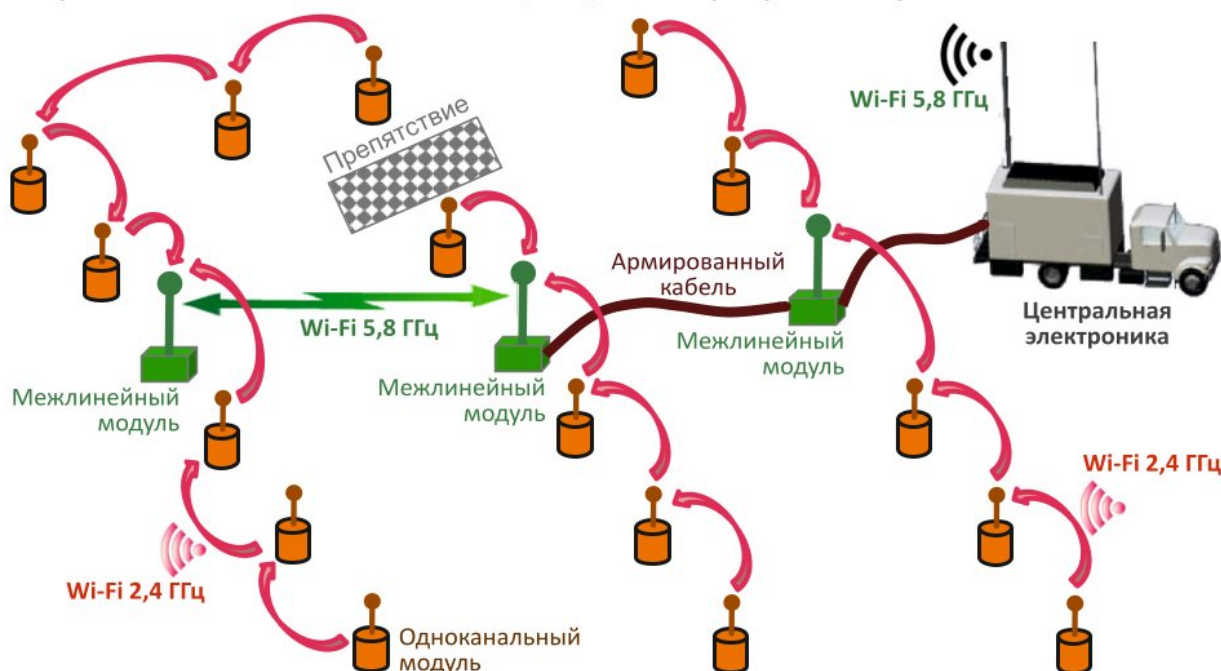
Особняком стоит радиотелеметрическая бескабельная система METIS, которая разрабатывается компанией Wireless Seismic по заказу нефтяной компании Total [7]. Модули DART этой бескабельной системы предполагается сбрасывать с мультикоптеров, зависающих над соответствующими пунктами приёма, а для передачи данных и «статусов» планируется использовать «радио нового поколения», обеспечивающее надёжную связь в условиях густой растительности или пересечённого рельефа.

Уже эксплуатируемые в настоящее время бескабельные системы RT2 компании Wireless Seismic и SCOUT-HT компании СКБ СП работают по другому принципу: в ней конструкторы прибегли к последовательной передаче данных от модуля к модулю по технологии Wi-Fi на частоте 2,4 ГГц. По сути, это радиорелейная связь, которая по определению не может обеспечить режим реального времени из-за ретрансляции постепенно увеличивающегося массива сейсмических данных. Массивы данных, накопленные на каждой линии приема, далее передаются на центральную электронику либо с помощью направленных антенн (на частоте 5,8 ГГц), либо по поперечному оптоволоконному кабелю, как в случае традиционной кабельной сейсморазведки (рис.2). Расчеты показывают, что общая задержка передачи данных на центральную электронику при количестве активных каналов от 5 до 10 тысяч и при межлинейной бескабельной передаче может составлять несколько минут, что неприемлемо для партий 3D с высо-

копроизводительными вибрационными и импульсными источниками. Кроме того, для ретрансляции накопленных массивов данных между линиями приема необходимо устанавливать высокие направленные антенны (7-8 метров и выше) с тремя-четырьмя фиксирующими растяжками, что довольно затруднительно в условиях узких просек и глубокого снежного покрова. Растяжки охватывают большую площадь и создают препятствия для проезда техники и прохода людей.

Неуклонное увеличение количества регистрируемых каналов при высокоплотных съемках 3D, многократное повышение кратности ОГТ и плотности трасс на 1 кв.км в результирующих массивах данных привели к тому, что традиционный контроль качества каждой исходной сейсмограммы на деле обесценился или даже потерял смысл. Действительно, визуальный контроль исходных данных совершенно невозможен в высокопроизводительных мега-партиях, где каждые 10 секунд регистрируется 20, 50 или даже

▼ Рис.2. Схема беспроводной передачи данных от модуля к модулю с использованием технологии Wi-Fi на частоте 2,4 ГГц. Накопленные массивы данных могут передаваться по Wi-Fi на частоте 5,8 ГГц или по армированному кабелю.



100 тысяч каналов. Это прежде всего справедливо для вибропартий, работающих по таким методикам как Slip-Sweep, HFVS и ISS, при которых исходные записи частично или полностью перекрываются во времени, и привычный контроль качества таких полевых материалов невозможен.

Что касается автоматизированных средств контроля качества исходных данных – таких как расчет средней или доминирующей частоты записи в заданном временном окне или расчет среднеквадратических амплитуд записи в одном или нескольких временных окнах (и, как опция, оценка затухания энергии сейсмической записи) – то они способны обнаружить аномальные записи в реальном времени, но... остановка партии и повторная отработка бракованного пункта возбуждения будет вряд ли целесообразной. Как показано при производственных вибросейсмических работах на Северном склоне Аляски, где в 2012 году плотность наблюдений была повышена в 6 раз и впервые превысила 3 миллиона трасс на кв. км, хорошее пространственное квантование волнового поля позволяет эффективно применять процедуры шумоподавления [9]. Даже такие интенсивные помехи, как морозобойные трещины и шум от вездеходов легко отфильтровываются на этапе обработки с помощью различных сортировок данных, при которых упомянутые помехи выглядят как случайные во времени и/или в пространстве.

Слепая регистрация сейсмических данных

Описанные выше ограничения и трудности с достижением устойчивой радиосвязи в гигагерцовом диапазоне, особенно в условиях пересечённого рельефа местности и густого и высокого леса, натолкнули конструкторов на

мысль отказаться от передачи сейсмических данных в реальном времени. Высокая надёжность современных автономных регистрирующих систем позволяет выполнять «слепые» сейсмические съёмки 3D при полном отсутствии беспроводной связи. Но в этом случае супервайзеры заказчика и сами исполнители полевых работ ничего не знают о состоянии вынесенных на профили автономных модулей (нодов) и не получают сейсмических данных для контроля качества в реальном времени.

Полный отказ от радиосвязи позволил разработать более дешёвые и более компактные бескабельные регистрирующие системы, такие как GSR/GSX компании Geospace Technologies, ZLand компании FairfieldNodal и SmartSolo компании DTCC, которые и стали наиболее востребованными в Западном полушарии и в Австралии в последние годы. Многолетний опыт эксплуатации этих «слепых» систем показал, что доля вышедших из строя каналов не превышает 1%. К этому же классу бескабельных регистрирующих систем относится разрабатываемая в ПАО «ГЕОТЕК Сейсморазведка» нодальная система «Открытие» [1, 2].

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 подрядчики 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 постоянный, ни периодический контроль уровня шума окружающей среды и качества полевых данных не обязательны или, по крайней мере, не критичны.

Если контроль интенсивности помех окружающей среды всё же требуется, то уровень микросейсм в пределах приемной расстановки иногда оценивается косвенно – например, по силе ветра, измеряемого анемометрами. Известно, что цифровые анемометры применялись в этих целях в Мексике при производственных съёмках 3D с бескабельной системой UNITE компании Sercel.

В случае необходимости прямого контроля уровня микросейсм и оценки качества сейсмических данных в процессе регистрации сейсмических данных «слепыми» бескабельными системами, известны различные решения, выбираемые в зависимости от предпочтений Заказчиков и подрядчиков и имеющегося у них оборудования. А именно, основная «слепая» регистрирующая система дополняется следующим образом:

- на одном или нескольких участках площади работ автономные модули дублируются 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 в течение нескольких недель. Естественно, этот вариант не обеспечивает непрерывного мониторинга регистрируемых сейсмических данных;

- вспомогательная кабельная система 2D из нескольких десятков или первых сотен каналов. Раскладывается, как правило, поперёк основных приёмных линий и обеспечивает все меры контроля качества в реальном времени, но только в выбранном месте приёмной расстановки;

- вспомогательная радиотелеметрическая система из нескольких десятков или первых сотен модулей RT2. Модули устанавливаются, как правило, компак-

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

Все эти три варианта мониторинга шума окружающей среды и контроля качества сейсмических данных в действительности применялись при крупных производственных съёмках 3D со «слепыми» системами. Например, в Боливии применялось сразу две вспомогательные регистрирующие системы: 160 радиотелеметрических модулей RT2 недалеко от базы партии и продублированные (снимаемые каждый день) автономные модули GSX, установленные на 5 участках дальних приёмных линий с такими же модулями [6].

На 81-й ежегодной конференции и выставке EAGE в Лондоне, состоявшейся в июне 2019 года, представители компаний BP и Роснефть выступили с докладом об успешном завершении многолетнего проекта «Гепард» и разработке собственной «слепой» бескабельной системы с компактными и удивительно легкими нодами (весом 150 г). В этом докладе декларируется, что при высокой надёжности регистрирующего оборудования и высокой плотности наблюдений 3D нет необходимости в контроле качества сейсмических данных в реальном времени [5]. В то же время отмечено, что слепая регистрация не подходит для маленьких сейсмопартий, в которых «паранойя контроля качества в реальном времени» объясняется использованием небольшого количества каналов, их высокой стоимостью и низкой плотностью наблюдений, не позволяющей применять статистические методы подавления помех на этапе обработки данных.

Контроль функционирования полевых модулей

В тех случаях, когда Заказчик разрешает применение «слепых» регистрирующих систем и не требует контроля качес-

тва исходных записей и оценки уровня микросейсм, для обеспечения бесперебойных и высокопроизводительных полевых работ самому подрядчику очень важно знать, как функционируют автономные модули, установленные на площади работ, и находятся ли они вообще на своих пунктах наблюдения в данный момент...

Некоторые производители современных бескабельных систем «пошли навстречу» подрядчикам и снабдили свои автономные модули той или иной возможностью периодического или непрерывного контроля «статусов», то есть параметров регистрации и функционирования полевых модулей. Чаще всего для беспроводного контроля «статусов» используются хорошо известные технологии Wi-Fi и Bluetooth, но в компании

Geospace Technologies отдали предпочтение технологии Zigbee (Табл.1).

К параметрам регистрации, которые проверяются или задаются, как правило, одновременно при установке модулей на свои пункты приема, относятся: шаг дискретизации, антиалиасинговый фильтр, усиление и временной интервал записи данных (если полевые работы ведутся не в круглосуточном режиме). К параметрам функционирования модулей относятся: уровень сигнала ГНСС (GPS и/или Глонасс), напряжение аккумулятора и ожидаемый срок его работы, температура внутри модуля, наклон сейсмоприемника, заполненность твердотельной памяти и, наконец, интенсивность микросейсм.

Известны два подхода к контролю параметров функционирования моду-

▼ Табл. 1. Способы передачи данных и «статусов» полевых модулей в современных бескабельных системах/

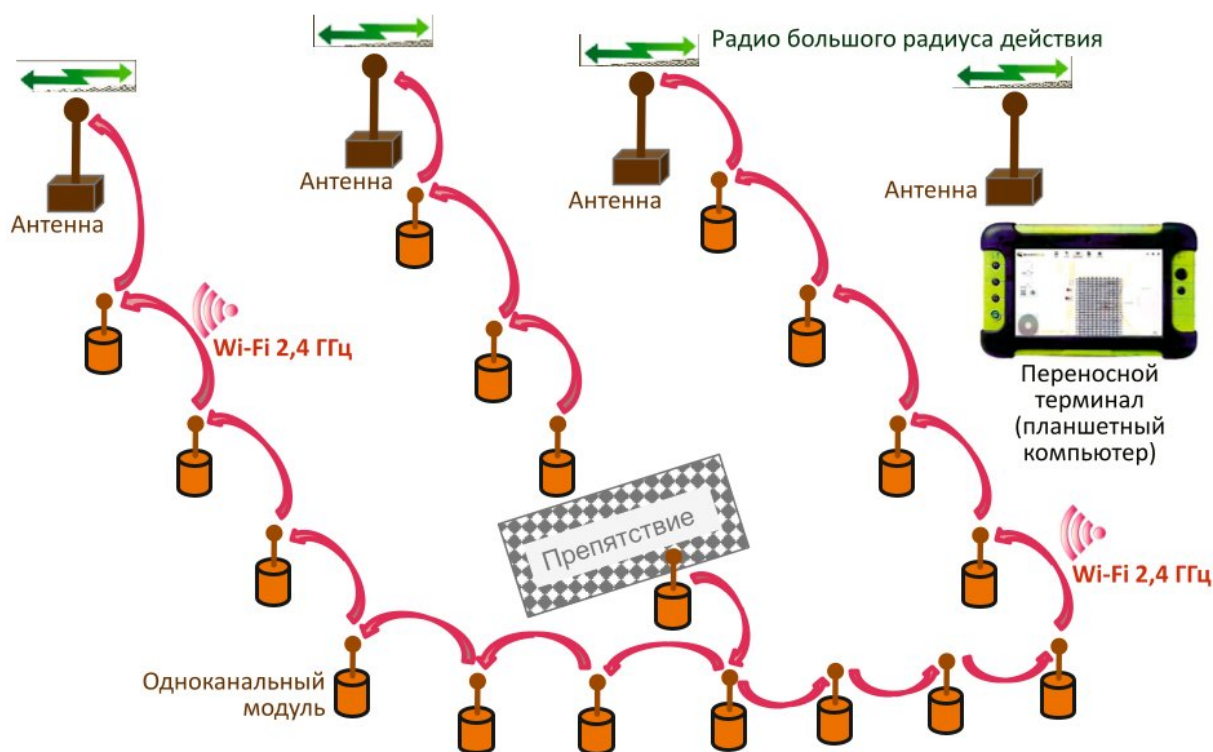
Разработчик / производитель	Название регистрирующей системы	Реальное время		Локально; периодически		На базе партии	
		Передача данных	Передача статусов	Передача данных	Передача статусов	Передача данных	Передача статусов
<i>Wireless Seismic</i>	RT2; RT3	Wi-Fi	Wi-Fi				
<i>СКБ СП</i>	SCOUT HT	Wi-Fi	Wi-Fi				
<i>TOTAL / Wireless Seismic</i>	METIS	Радио	Радио				
<i>Sercel</i>	WTU-508		Wi-Fi	Wi-Fi	Wi-Fi	Wi-Fi	
<i>Sercel</i>	WiNG		Wi-Fi	Wi-Fi	Wi-Fi	Контакт	
<i>DTCC</i>	SoldMesh		Wi-Fi		Wi-Fi	Контакт	
<i>СКБ СП</i>	SCOUT			Wi-Fi	Wi-Fi	Wi-Fi	
<i>ГЕОТЕК Сейсморазведка</i>	Открытие			Wi-Fi	Wi-Fi	Контакт	
<i>GTI</i>	NRU-1C				Bluetooth	Контакт	
<i>INOVA</i>	Quantum				Bluetooth	Bluetooth	
<i>Geospace Technologies</i>	GCL				Zigbee	Ethernet	
<i>FairFieldNodal</i>	Zland II					Контакт	Контакт
<i>Geospae Technologies</i>	GSR; GSX					Контакт	Контакт
<i>DTCC</i>	SmartSolo					Контакт	Контакт
<i>BP / Schlumberger</i>	Nimble					Оптика	Оптика

лей: периодический и постоянный. Периодический контроль может осуществляться локально с помощью любого работника сейсморпартии, не обладающего специальной квалификацией. Ему достаточно пройти или проехать вдоль линий наблюдения с планшетным компьютером или обычным смартфоном. Параметры функционирования модулей передаются по Wi-Fi или Bluetooth и впоследствии считываются и анализируются на базе партии. В последние годы несколько производителей бескабельных систем, таких как GSX (Geospace Technologies) и NuSeis (GTI), тестируют применение винтокрылых дронов, снабженных автопилотом и планшетным компьютером. Но такое решение подходит далеко не для всех природно-климатических условий. Например, в условиях холодного климата аккумуляторы дрона должны иметь подогрев для

обеспечения достаточно большой длительности полета (1,5–2 часа), что делает такой воздушный контроль приемной бескабельной расстановки довольно сложным технологически и дорогостоящим.

Другой подход к контролю функционирования «слепых» бескабельных систем – снабдить все модули гигагерцовой беспроводной связью для последовательной передачи «статусов» от одного модуля к другому по линиям приема. В этом случае на концах приемных линий необходимо установить антенны с собственными источниками питания для передачи накопленных на линиях «статусов» на планшетный компьютер по радиосвязи большого радиуса действия (до 10 км). По такой схеме (рис.3) обеспечивается контроль бескабельной приемной расстановки в реальном времени. Необходимо иметь в виду, что энергопот-

▼ Рис.3. Схема беспроводной передачи «статусов» (параметров функционирования одноканальных модулей и интенсивности микросейсм) от одного модуля к другому по технологии Wi-Fi. Для передачи накопленных «статусов» на переносной терминал используется радио большого радиуса действия.



ребление значительно увеличивается при передаче статусов, и время работы встроенных в модули аккумуляторов сокращается примерно в два раза.

Впервые описываемая возможность передачи «статусов» в реальном времени появилась в 2017 году в бескабельной системе WTU-508 компании Sercel, где была использована собственная технология XT-Pathfinder. Но теперь подобная функция появилась в других нодальных системах, таких как WiNG компании Sercel и SmartSolo компании DTCC (Табл.1).

В первом квартале текущего года в ходе опытно-методических работ с нодальной бескабельной системой «Открытие», разработанной компанией «ГЕОТЕК Сейсморазведка» [1, 2], был проверен способ периодического сбора «статусов» с помощью переносных устройств, использующих технологию Wi-Fi. Хотя периодический контроль «статусов» с использованием наземных или воздушных транспортных средств нам представляется наиболее практичным и перспективным, в планах наших НИОКР стоит также разработка модификации нодальной системы «Открытие» с возможностью непрерывного мониторинга параметров функционирования приемной расстановки.

Заключение

Бескабельные регистрирующие системы завоевывают всё большую популярность в мировом масштабе, особенно в Западном полушарии и в Австралии, где «слепая» сейсмика не встретила сопротивления со стороны заказчиков сейсморазведочных работ, и наиболее популярными регистрирующими системами стали GSR/GSX компании Geospace Technologies, ZLand компании FairfieldNodal и SmartSolo компании DTCC. В нашей стране «слепая» сейсмика пока вызывает недоверие у большинства заказчиков, вследствие чего наиболее популярной бескабельной системой на сегодняшний день является RT2 компа-

нии Wireless Seismic. В этой системе регистрируемые сейсмические данные передаются на центральную электронику в (почти) реальном времени.

В то же время, обширная мировая практика применения бескабельных систем показала, что современная электроника обладает очень высокой надежностью, и процент вышедших из строя автономных модулей не превышает 1% даже после нескольких лет эксплуатации. Надежность бескабельных систем позволяет отказаться от функции передачи сейсмических данных в реальном времени и контроля их качества, в первую очередь при выполнении высокоплотных проектов 3D. Отказ от функции передачи данных в реальном времени позволяет разработать более дешевые и простые в обращении бескабельные системы, позволяющие многократно повысить плотность сейсмических наблюдений без существенного увеличения затрат. С учетом этого тренда мы разрабатываем собственную нодальную систему «Открытие» как с возможностью периодического локального сбора «статусов», так и с функцией их непрерывного беспроводного контроля.

Переход на «слепые» сейсмические съемки вызовет принципиальные изменения в работе супервайзеров. В сейсмпартиях со «слепыми» бескабельными системами супервайзеры будут переключать свое внимание на соблюдение предписанных Заказчиком технологий полевых работ и на достижение высокой культуры труда (и в частности, на обеспечение высокого качества установки узлов бескабельных регистрирующих систем).

Литература

1. Абдулвалиев М.Т., Тарасов Н.В., Агафонов В.М. Бескабельная сейсмостанция «Открытие» с молекулярно-электронными геофонами как замена импортных сейсмических станций на передовом технологическом уровне. – Материалы рабочего совещания и

выставки по привлечению предприятий ОПК России к изготовлению геологоразведочного оборудования в рамках программы диверсификации. – Геленджик, АО «Южморгеология», 26-27 сентября 2019 г.

2. Тиссен А.П. Результаты ПАО «ГЕОТЕК Сейсморазведка» в развитии новых сейсморазведочных технологий. – Геолого-геофизическая конференция и выставка «Геоевразия-2020», Москва, 3–6 февраля 2020 г.

3. Череповский А.В. Наземная сейсморазведка нового технологического уровня. Издание второе, дополненное. – Москва, ЕАГЕ Геомодель, 2017. – 252 с.

4. Череповский А.В. Миллион каналов в наземной сейсморазведке: актуально или нет? – Тезисы 6-го международного семинара «Геофест-2019», Истра, 9–12 июля 2019 г.

5. Manning T., Stone J., Ourabah A. et al. Could you use one million nimble channels? – 81st EAGE Conference & Exhibition, London, 3–6 June 2019.

6. Munoz P.A., Rodriguez L., Parrado R. et al., Operational challenges of nodal 3D seismic acquisition in the sub-Andean environments. – 77th EAGE Conference & Exhibition, Madrid, 1–4 June 2015.

7. Pagliccia B., Dalton K., Walker C. et al. METIS hits the ground in Papua New Guinea, a field-proof innovative method to revolutionize onshore seismic acquisition. – 80th EAGE Conference & Exhibition, 11-14 June 2018, Copenhagen, Denmark.

8. 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.

9. Winter O., Maxwell P., Schmid R., Watt H. High density, high productivity vibroseis acquisition on the Alaskan North Slope. – SEG 83th Annual Meeting, Houston, 22–27 September 2013.

Подробнее об авторах



Абдулвалиев
Марат Талгатович

Технический директор НТЦ компании «ГЕОТЕК Сейсморазведка», к. т. н. Автор и соавтор 15 изобретений, автор и соавтор более 40 научных статей и докладов, обладатель звания и нагрудного знака «Изобретатель СССР». Награжден 2 серебряными и 2 бронзовыми медалями ВДНХ за представленные научные разработки.



Тиссен
Артур Петрович

Вице-президент по науке компании «ГЕОТЕК Сейсморазведка», к. т. наук. Автор и соавтор более 10 научных статей и докладов, награжден орденом «За заслуги перед Отечеством» 2 степени.



Череповский
Анатолий Викторович

Главный специалист НТЦ компании «ГЕОТЕК Сейсморазведка», к. т. н. Автор и соавтор 36 научных публикаций и докладов, двух монографий по наземной сейсморазведке и англо-русского словаря по прикладной геофизике.