

Современные бескабельные телеметрические сейсморегистрирующие системы (обзор)

■ Кузнецов И.М., Турлов П.А., СРО МОО ЕАГО, г.Саратов

В последнее время зарубежными и отечественными компаниями успешно разрабатываются и активно внедряются в производство бескабельные телеметрические сейсморегистрирующие системы (БТСС). Три важные технологические инновации обеспечили возможность создания современных БТСС. Первая, широкополосная радиотехника (например, WiFi) на более высоких и нелицензируемых несущих частотах (например, 868 МГц, 2,4 ГГц, 5 ГГц) и широкие диапазоны рабочих частот, позволяющие создавать современные беспроводные системы, поддерживающие гибкую архитектуру (компоновку). Вторая, внедрение в производство компактных блоков батарейного питания и накопительных устройств (до 2 Тб), значительно снизивших общий вес полевых модулей БТСС. Третья, возможность использования маломощных, миниатюрных и высокочувствительных чипов GPS, обеспечивших возможность использования сигналов GPS для синхронизации работы системы возбуждения сейсмических колебаний и всех систем БТСС.

В табл.3 приведены технические характеристики следующих БТСС, представленных в настоящее время на рынке геофизического оборудования: SCOUT (компания СКБ СПб, Россия); UNITE (компания Sercel, Франция); FireFly DR31 (компания INOVA, Китай); GSR (компания Oyo Geospace, США); ZLand (компания Fairfield Nodal, США); Hawk SN11 (компания INOVA, Китай); hyMeshSIGMA (компания iSeis, США); RT System 2 (компания Wireless Seismic Inc., США); Autoseis HDR-1 (Компания Global Geophysical, США). Анализ данных, представленных в

табл.1, показывает, что все рассмотренные БТСС можно разделить на следующие группы:

- БТСС «UNITE», «hyMeshSIGMA», «RT System 2» обеспечивают возможность передачи в центральный регистрирующий комплекс (ЦРК) регистрируемых данных в реальном времени (сетевые БТСС);
- БТСС «FireFly DR31» передает в ЦРК в реальном времени лишь информацию о состоянии профиля и диагностическую информацию о техническом состоянии полевого модуля (полуавтономные БТСС);
- БТСС «SCOUT», «GSR», «Z Land» и «HAWK SN11», «Autoseis HDR-1» являются автономными БТСС.

Бескабельные системы совершенствуются и приобретают все больший вес на рынке геофизического оборудования [1].

Так БТСС «hyMeshSIGMA» является дальнейшим развитием БТСС «SIGMA» и обеспечивает выполнение 2D и 3D сейсмических исследований в реальном времени через последовательность модулей, ретрансляторов и сборщиков данных (data aggregators), размещенных в бескабельных блоках. Регистратор системы обеспечивает регистрацию данных при 10000 и более канальных исследованиях с немедленным доступом к результатам контроля качества. Возможно использование солнечных батарей для зарядки аккумуляторных батарей.

В 2012 г. Wireless Seismic Inc. представила систему RT System 2, являющуюся модернизацией системы RT 1000 (2010 г.), которая также обеспечивает сейсмические расстановки свыше 10000 кана-

▼ Табл. 1.

Преимущества бескабельных систем					
Перечень преимуществ	Мнения представителей компаний				
	Apache	BP Libia	BP Papua	GWG	Viking
Высокая производительность		Да		Да	Да
Большая мобильность – легче разворачивать, перемещать, свертывать	Да	Да	Да	Да	Да
Более гибкая геометрия расстановок	Да	Да	Да	Да	Да
Легко комбинируется с кабельной системой	Да	Да			Да
Легко расширяемая		Да		Да	Да
Проще в использовании			Да	Да	Да
Более надежная	Да	Да		Да	Да
Легче в обслуживании		Да		Да	Да
Достаточно высокое качество данных	Да	Да		Да	Да
Обеспечение техники безопасности и охраны окружающей среды	Да	Да	Да	Да	Да
Меньше затрат на использование	Да	Да		Да	Да
«Да» означает согласие с наличием данного преимущества ; «Пропуск» означает отсутствие интереса к данному преимуществу; «Нет» означает несогласие с наличием данного преимущества					

лов с эффективной системой радиопередачи, которая снимает ограничения на контроль качества, передачу данных и обработку. Полностью масштабируемая система использует последние достижения в электронике, запатентованную систему диагностики и обеспечивает регистрацию данных в общепринятом формате. Поскольку радиосвязь осуществляется между соседними модулями, то современные аккумуляторные батареи вполне обеспечивают работу многоканальной системы.

Компания Sercel недавно представила модернизированную систему UNITE, которая может работать как в режиме

реального времени, так и в автономном режиме. Данная система имеет две версии – аналоговая и цифровая. Система обеспечивает возможность сбора данных в процессе регистрации с использованием широкополосного радиоканала. Внутренняя батарея обеспечивает работу в течении 2-х недель.

Система FireFly компании ION также получила ряд новых возможностей в своей новой модификации DR31. Технология обеспечивает высокоэффективное батарейное питание модуля, проведение наблюдений без предварительной разбивки пикетов, передачу атрибутов трасс, хорошее соотношение сигнал/шум.

▼ Табл. 2.

Недостатки бескабельных систем					
Перечень недостатков	Мнения представителей компаний				
	Apache	BP Libia	BP Papua	GWG	Viking
Ограниченная емкость батарей	Незнач.	Незнач.	Незнач.	Незнач.	Незнач.
Невозможность передачи данных в реальном времени	Незнач.	Незнач.		Незнач.	Незнач.
Легко украсть		Незнач.			
Зависимость от спутниковой информации для синхронизации и определения положения	Да	Незнач.	Незнач.	Незнач.	
«Незнач.» означает, что данный недостаток незначителен ; «Пропуск» означает отсутствие интереса к данному недостатку; «Да» означает согласие с наличием данного недостатка					

Автономные БТСС регистрируют сейсмоданные «вслепую», без обеспечения оператору в ЦРК системы возможности контролировать состояние профиля в реальном времени, однако, несмотря на это, БТСС данного типа уже достаточно широко используются для выполнения 2D и 3D сейсморазведочных работ.

В табл. 1 и 2 приведены мнения о преимуществах и недостатках БТСС четырех зарубежных компаний (Apache, BP, GWG и Viking Geophysical Service), активно использующих БТСС при выполнении сейсмических исследований в различных географических и климатических зонах земного шара [2].

Все технологии сейсморазведочных работ, базирующиеся на конкретных технических средствах имеют как свои преимущества, так и ограничения по возможности использования. Оптимальное оборудование для одних сейсмогеологических условий может оказаться совершенно неприемлемым для других.

Технология выполнения полевых работ с использованием БТСС имеет свои особенности, связанные не только с отсутствием кабельного канала передачи данных, но и с типом самой БТСС (сетевой, полуавтономный и автономный типы) и только всесторонний учет этих особенностей может обеспечить реализацию всех потенциальных возможностей БТСС того или иного типа.

Рассмотрим варианты реализации полевых технологий выполнения сейсморазведочных работ с использованием БТСС.

2D сейсмическая технология

Современная практика выполнения 2D сейсморазведочных работ предусматривает следующие возможные варианты использования БТСС:

1. Использование БТСС в качестве

самостоятельной сейсморегистрирующей системы при выполнении региональных и маршрутных поисковых сейсморазведочных работ;

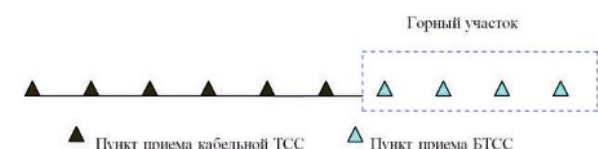
2. Оптимизация расположения пунктов приема на профилях, пересекающих особо сложные районы с высокой урбанизацией и сложным рельефом. Например, спрямление профиля (рис.1);

2. Продление приемной расстановки в зоны, недоступные для транспортных средств. Например, продление расстановки в сложный рельеф (рис.2);

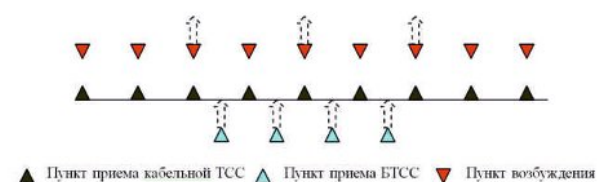
3. Сгущение пунктов приема в случае необходимости разряжения пунктов возбуждения (рис.3).



▲ Рис. 1. Спрямление профиля



▲ Рис. 2. Продление расстановки в сложный рельеф



▲ Рис. 3. Сгущение ПП, разряжение ПВ



▲ Рис. 4. Преодоление препятствий

4. Обеспечения непрерывной регистрации данных при преодолении препятствий (реки, железнодорожные пути, автострасы), осложняющих или не допускающих использование кабельных сейсморегистрирующих систем (рис.4).

Как показывает мировая практика, при проведении 2D сейсморазведочных работ могут быть использованы все типы БТСС – сетевые, полуавтономные и автономные.

Так в [3] описан опыт успешного применения автономных БТСС «РОСА-А» для решения задач региональных исследований методом глубинного сейсмического зондирования в сложных геоморфологических условиях северо-востока страны. По мнению авторов, данные работы показали, что технология глубинных сейсмических исследований с использованием системы наблюдений с многократными перекрытиями на базе автономных БТСС является эффективной и экономически выгодной.

В [4] описан опыт применения автономной БТСС «SCOUT» при проведении 2D сейсморазведочных работ в предгорных районах Кабардино-Балкарии. В данном случае БТСС использовалась как вспомогательный инструмент, обеспечивающий продление и стыковку профилей при наличии препятствий, что позволило получить непрерывную корреляцию отражающих горизонтов, повысить кратность прослеживания в эксклюзивных зонах и получить дополнительную сейсмическую информацию там, где было невозможно эффективно использовать кабельную систему.

3D сейсмическая технология

3D сейсморазведка явилась самым мощным за последнее время технологическим прорывом в сейсморазведке.

До недавнего времени выполнение 3D

сейсмических наблюдений осуществлялась с использованием лишь кабельных многоканальных и сверхмногоканальных телеметрических сейсморегистрирующих систем. Однако в последнее время появился ряд сообщений о выполнении 3D проектов с использованием различных типов бескабельных сейсморегистрирующих систем [5, 6, 7, 8].

В последние годы при выполнении 3D сейсмических наблюдений все чаще применяют гибридные приемные расстановки, состоящие из кабельных и бескабельных сегментов. Такие сегменты могут соседствовать и чередоваться (в соответствии с типом грунта, наличием препятствий и экологически чувствительных зон и т.п.) или перекрываться (если нужно сократить интервал между ПП для неглубоко залегающих целевых границ или добавить трехкомпонентные датчики для прогнозирования геологического разреза и расчета свойств коллектора).

Такие гибридные приемные расстановки могут быть использованы для решения следующих задач:

1. Локальное увеличение кратности наблюдения на площади, например, около скважины и/или для детального изучения верхней части разреза.

2. Организация одновременной записи однокомпонентных (1С) и многокомпонентных (3С) данных с использованием различного типа датчиков (аналоговых и/или цифровых).

3. Обеспечение сейсмических работ в сложных геоморфологических условиях, например, на заболоченных участках или на больших удалениях.

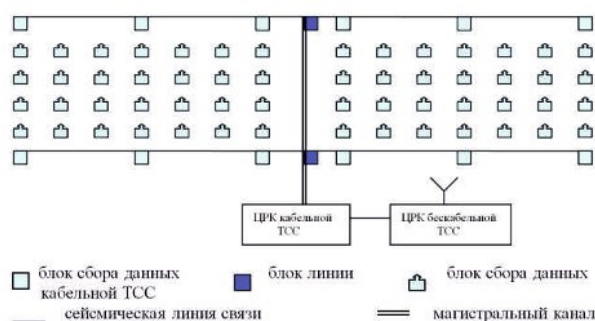
4. Выполнение сейсмического активного мониторинга месторождений, обеспечение организации непрерывной записи микросейсмического процесса (пассивный сейсмический мониторинг).

В случае применения такой смешан-

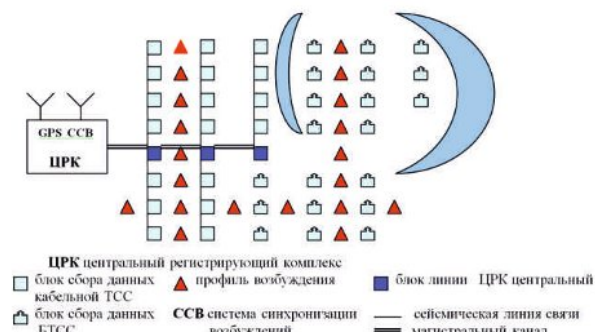
ной конфигурации, важно предусмотреть совместимость всех сегментов приемной расстановки. Важно получить однородную сейсмическую информацию (одни и те же параметры регистрации, одна и та же электроника, те же меры контроля качества) в одном выходном формате.

Такие различные конфигурации приемных расстановок позволяют выполнять высокопроизводительные и высокоточные 3D работы в более сложных поверхностных условиях и получать более качественные изображения исследуемой геологической среды.

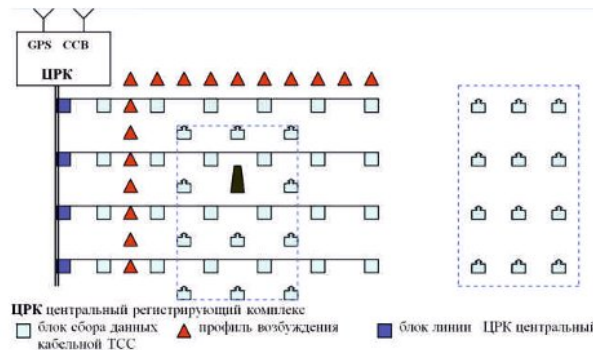
Различные варианты гибридных пространственно распределенных систем наблюдения представлены на рис. 5, 6, 7, 8.



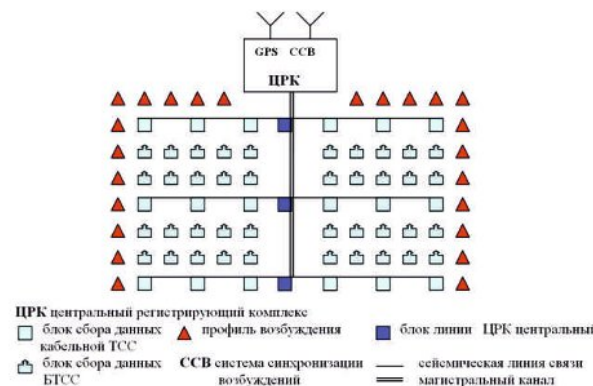
▲ Рис. 5. Кабельные и бескабельные каналы дополняют друг друга для обеспечения мегаканальной расстановки с возможностью контроля процесса регистрации в реальном времени



▲ Рис. 6. Схема пространственно распределенной системы наблюдения в особо сложных геоморфологических условиях



▲ Рис. 7. Схема пространственно распределенной системы наблюдения в техногенной зоне и на больших удалениях



▲ Рис. 7. Схема пространственно распределенной системы наблюдения для совмещенной (одновременной) записи однокомпонентных (1С) и многокомпонентных (3С) записей

Наиболее часто гибридные расстановки используются в районах с разветвленной инфраструктурой, а также в районах с различными ограничениями, связанными с экологией местности. Хотя препятствия и ограничения оказывают влияние на размещение как пунктов приема, так и пунктов возбуждения, однако пункты приема, в основном, менее чувствительны к подобного рода воздействиям, поскольку площадь оказываемого ими влияния на окружающую среду мала и их перемещение не составляет особого труда. В соответствии с теорией обратимости, пункты возбуждения и пункты приема взаимозаменяемы, чем можно воспользоваться при наличии препятствий и ограничений на исследуемой площади.

Новые бескабельные технологии облегчают возможность уплотнения сети наблюдения в области ограничений на исследуемой площади при существенно меньших финансовых затратах и, как результат, они находят все большее применение при выполнении 3D сейсмических работ [9].

Технические преимущества приемных устройств бескабельной системы при уплотнении сети наблюдения проистекают из того, что их можно разместить там, где размещение источников невозможно. Уплотнение сети наблюдения в зоне ограничения вызывает меньшие отклонения в распределении трасс в соседних с зоной ограничения областях. Кроме того, в этом случае распределение «удаление/азимут» лучше, чем при уплотнении сети пунктов возбуждения. Такие различные конфигурации приемных расстановок позволяют выполнять высокопроизводительные и высокоплотные 3D наблюдения и получать более качественные изображения исследуемой геологической среды.

В [6] описано выполнение проекта, в ходе которого были выполнены сравнительные тестовые испытания бескабельной (BTCC UNITE) и кабельной (SN428XL) сейсморегистрирующих систем при выполнении 3D сейсморазведочных работ. При этом 3D работы с обеими системами были выполнены одновременно на одной и той же площади. Бескабельная сейсмическая расстановка включала 8 линий наблюдения с 960 активными каналами. Основными целями выполнения проекта являлись:

- оценка преимуществ и недостатков бескабельной технологии в сравнении с кабельной технологией при выполнении сейсмических наблюдений в плотно населенном сельскохозяйственном районе;

- оценка трудоемкости всего процесса использования бескабельной системы, включая вспомогательные операции, начиная с установки блоков на пикеты и кончая съемом и загрузкой данных в компьютер.

Для оценки бескабельной системы в сравнении с кабельной системой было использовано 6 параметров: кратность, бракованные трассы, трудоемкость работ, вес системы, затраты времени, качество данных, экология и техника безопасности.

Кратность

В некоторых районах использование бескабельной системы несколько повысило кратность перекрытия. Это в основном связано с тем, что в более плотно населенных районах бескабельная система обеспечивала более точное соответствие реальной расстановки запланированной, чем кабельная система.

Бракованные трассы

Процент бракованных трасс в обоих случаях был ниже 1,5%. Вместе с тем, отмечается тенденция к резкому снижению процента бракованных трасс у бескабельной системы по мере того, как персонал партии накапливал опыт работы с бескабельной системой, оптимизации процесса обнаружения неисправностей.

Трудоемкость работ

Количество персонала партии, занятого обслуживанием непосредственно бескабельной системы, в течение нескольких дней сократилось на одну треть по сравнению с партией, работавшей с кабельной системой.

Вес системы

Наибольшую часть общего веса бескабельной системы UNITE составил вес внешних батарей (12 в, 18 А-ч). Отмечено, что общий вес бескабельной системы был на 29% больше общего веса кабельной системы.

Затраты времени

Экономия времени в процессе установки блоков на исследуемой площади составила около 50% по сравнению с временем, затрачиваемым на раскладку кабельной системы. В основном это связано с наличием на исследуемой площади потоков и рек, а также недостатком мостов и дорог. Это вынуждало персонал, занятый на раскладке и сборе кабельной системы, использовать обходные маршруты, чего не требовалось для бескабельной системы.

Качество данных

Как и ожидалось, сырые полевые данные бескабельной и кабельной систем практически не отличались. После обработки данных с использованием одного и того же графа обработки были получены абсолютно одинаковые разрезы. Небольшие отличия в шумах в основном связаны с отличиями в установке датчиков и небольшими вариациями, связанными с выносами.

Экология и техника безопасности

Проблемы, связанные с экологией и безопасностью работы персонала сейсмопартии, были сняты использованием бескабельной системы.

Результаты тестовых испытаний показали высокую надежность работы бескабельной системы и подтвердили возможность использования гибридных приемных расстановок, состоящих из кабельных и бескабельных сегментов, для оптимизации сейсморазведочных работ для обеспечения их эффективности и качества данных. Как и ожидалось, никаких существенных различий в качестве исходных и обработанных данных, зарегистрированных с использованием столь отличных технологий регистрации, замечено не было. Во многом это связано с обеспечением полной интеграции между регистрирующими системами.

4D сейсмическая технология

4D сейсмическая технология была впервые использована в качестве исследовательского инструмента в начале 80-х годов, но широкое применение она нашла только в последние годы для мониторинга процессов, имеющих место на месторождениях углеводородов в процессе их эксплуатации. В зависимости от используемой методики наблюдения различают 4D активный сейсмический мониторинг и 4D пассивный сейсмический мониторинг месторождений углеводородов.

4D активный сейсмический мониторинг.

Обычно под 4D сейсмическим мониторингом понимают результаты периодически проводимых 3D сейсмических исследований на действующих месторождениях. Объект исследований — структура отражающих границ, изменение которой связано с отбором пластовой жидкости, нагнетанием воды в пласт, ГРП и т.д.

Основные усилия по совершенствованию 4D сейсмической технологии направлены на увеличение соотношения сигнал/помеха в сейсмических записях и обеспечение повторяемости во времени результатов съемок.

Некоторые авторы полагают, что в ближайшем будущем основные сейсмические исследования будут нацелены на проведение 4D работ на действующих месторождениях [11] при полной интеграции процессов выполнения сейсмических исследований и разработки месторождений. Это позволит обеспечить более точное моделирование месторождений.

В настоящее время наблюдения с использованием 4D сейсмической технологии осуществляются с использованием многоканальных и сверхмногоканальных кабельных телеметрических сейсморегилирующих систем.

Весьма перспективными для выполнения работ с использованием 4D сейсмической технологии в условиях действующих месторождений углеводородов являются БТСС в автономном варианте исполнения, поскольку БТСС данного типа менее подвержены воздействию высокого уровня помех, связанных с работой оборудования на месторождении.

4D пассивный сейсмический мониторинг

Пассивный сейсмический мониторинг в настоящее время интенсивно развивается в скважинном и скважино-наземном вариантах наблюдений [12] и используется в основном для изучения направления гидроразрыва пласта (ГРП).

Перманентный пассивный сейсмический мониторинг (от нескольких сотен до более тысячи часов) позволяет получить принципиально новую информацию о текущем состоянии месторождения. Такую, как направление латерального продвижения фронта естественного и искусственного заводнения залежи, наличие останцов в зоне заводнения, основные векторы флюидопотоков с преимущественно водным или нефтяным составом и др. Технология мониторинга позволяет сделать предварительную оценку целесообразности проведения мероприятий по увеличению нефтеотдачи (МУН) в конкретных скважинах, эффективности их проведения в реальном времени и дополнительного бурения на отдельных участках месторождения.

Реализация указанных возможностей осуществляется за счет «прослушивания» глубинных гидро- и термодинамических процессов в пределах месторождения. Исходной информацией для прослушивания являются микроволны сейсмической эмиссии (СЭ) и техногенного шума (ТШ). Возникая в породах продуктивной толщи, они распространяются в геосреде, в том числе по направле-

нию к дневной поверхности, где и регистрируются средствами сейсморазведки.

В настоящее время для проведения пассивного сейсмического мониторинга используются в основном кабельные телеметрические сейсморегирующие системы. Наблюдения в основном проводятся на апертурах, имеющих форму n-лучевой звезды (100 – 300 каналов).

Весьма перспективными для проведения пассивного мониторинга углеводородов являются БТСС, обеспечивающие возможность создания любого вида апертур на площади действующих месторождений. В частности, в [13, 14] сообщается об использовании для этих целей БТСС “UNITE” и БТСС “RT System 2”, соответственно, компаниями “PanAmerican Geophysical” и “MicroSeismic” (обе США), специализирующимися на выполнении данного вида геофизических работ. Вместе с тем, в [15] сообщается об успешном выполнении мониторинга процесса гидроразрыва пласта с использованием автономной БТСС Zland.

Многоволновая сейсморазведка

Многокомпонентная сейсмическая регистрация, т.е. измерения вертикальными и горизонтальными сейсмоприемниками, более полно охватывает сейсмическое волновое поле, чем обычные одноэлементные (1С) методики. Специально регистрируется много волн различных типов и классов, включая волны помехи, для последующей обработки и интерпретации. Отсюда и название многоволновая сейсморазведка (МВС).

МВС обеспечивает (при использовании высококачественных трехкомпонентных датчиков):

- Точное измерение анизотропии, как на продольных (Р), так и на поперечных (S) волнах, с точки зрения амплитуды и скорости;

- Получение неосложненных аляйсингом изображений коллекторов при определенных углах падения, частотах сигнала и скоростях распространения волн;

- Регистрацию данных во всей полосе частот, пропускаемой геологической средой.

Чтобы полностью раскрыть потенциал многоволновой сейсморазведки, необходима комбинация нескольких технологий, включая:

- Высокоточные трехкомпонентные датчики.
- Широкоазимутальные системы наблюдения.
- Векторная фильтрация для подавления регулярных помех;
- Обработка с учетом анизотропии скоростей.
- Специализированные высокоэффективные регистрирующие системы, обеспечивающие выполнение полевых работ с высокой плотностью пунктов приема и очень большой канальностью.

Для регистрации полного волнового поля и получения изображений среды на Р и S волнах требуются сверхмногоканальные сейсморегирующие системы. С учетом регистрации 3-х компонент, необходимая канальность системы может быть более 10000. Важным моментом является также то, что при многоволновых исследованиях длина записи должна быть намного больше обычной, что связано с низкими скоростями поперечных волн.

Учитывая вышеизложенное, весьма перспективными для выполнения работ МВС являются бескабельные телеметрические сейсморегирующие системы.

Интересно отметить, что тестовые испытания одной из первых бескабельных сейсморегирующих систем - БТСС FireFly – были выполнены компаниями Global Geophysical и Apache

Corporation с использованием сейсмической технологии МВС [16].

БТСС как составляющая экологически «чистых» сейсморазведочных технологий

Под термином «экологически чистые технологии» понимаются технологии, наносящие минимально возможный, обусловленный применяемой методикой, аппаратным и техническим обеспечением сейсмического отряда, вред окружающей природе. Эти негативные воздействия не могут быть полностью устранены и определяются современным уровнем развития сейсморазведочной аппаратуры, источников возбуждения и сервисного оборудования всего цикла полевых работ.

Согласно [17] перспективными направлениями в разработке экологически чистых технологий могут быть:

1. Разработка методик и технологий, позволяющих свести к минимуму количество пунктов возбуждения на единицу профиля или площади. Это равносильно переходу на такие системы наблюдений, при которых имелась бы возможность получения необходимой информации на изучаемой площади с минимально возможным объемом профилей возбуждения и увеличенным объемом профилей для приема упругих колебаний, оказывающих существенно меньшее воздействие на окружающую среду. Таким образом, несомненно, перспективным является переход на гибкие системы наблюдений пространственной сейсморазведки.

2. Применение при сейсморазведочных работах технически обоснованных источников возбуждения.

3. Переход на технологии с применением новых возможностей современной техники. Обеспечение меньшего веса и габаритов всех функциональных элементов (сейсмостанция, буровые станки и

др.) и применение новых типов облегченных транспортных средств с уменьшенным удельным давлением на почвенный покров.

4. Разработка и осуществление мероприятий, направленных на снижение численности персонала в полевом отряде.

5. Обеспечение утилизации следов пребывания обслуживающего персонала и техники.

Одной из составляющих экологически «чистых» сейсморазведочных технологий являются БТСС. Об этом убедительно свидетельствуют результаты выполнения сейсморазведочных наблюдений с использованием БТСС в различных районах мира, чувствительных к нарушению экологии.

Помимо обеспечения возможности перехода на гибкие системы наблюдений пространственной сейсморазведки с многоканальными расстановками и связанными с этим преимуществами, БТСС обеспечивают ряд других, весьма существенных преимуществ, обеспечивающих снижение степени воздействия на окружающую среду:

1. Существенное снижение численности персонала полевой партии;

2. Существенное снижение количества и веса оборудования перемещаемого в полевой партии в процессе выполнения полевых работ;

3. Существенное повышение гибкости и скорости развертывания оборудования на исследуемой площади, а также его свертывания по окончании выполнения работ;

4. Обеспечение возможности выполнения сейсморазведочных работ в районах, в которых проведение данных работ с другим оборудованием из-за различного рода ограничений невозможно;

5. Более полное удовлетворение требований охраны труда и техники

безопасности в процессе выполнения полевых работ.

Литература

1. Nell Lukosavich, Twenty thousand (remotely-powered) traces under the ground. WorldOil, Vol.234, #4, 2013

2. Jack Caldwell, Wireless Seismic Systems – High Expectations Being Achieved [2011] www.apgindia.org/pdf/558.pdf

3. Сагайдачная О.М., Сальников А.С., Сагайдачный А.В.Б Шмыков А.Н., Щегольков А.В. Первые результаты производственного опробования автономных регистраторов РОСА-А при работах ГСЗ, Приборы и системы разведочной геофизики, № 04/2006

4. Емкужев А.С., Слонов Д.Н., Красных В.А., Калинин А.Ю., Опыт работы ОАО «Оренбургская геофизическая экспедиция с системой бескабельного сбора данных SCOUT в предгорных районах Республики Кабардино Балкария, Приборы и системы разведочной геофизики, № 01, 2013, стр.6-10

5. Mike Yates, Jeff Reck, Marty Smithey, Wine country 3-D: Cable-less seismic acquisition in Mendoza Province, Argentina [2011] www.apachecorp.com

6. Wireless vs. Wireline Land 3D Seismic in North Italy [2013] www.geotecspa.com

7. Wireless land survey in Colorado, Digital Energy Journal, January 06, 2009 www.apachecorp.com

8. Jack Caldwell, Cable-less seismic offers real-world advantages. Hart's E&P [2010] www.epmag.com

9. The Benefits of Receiver Infill Stations, A Technical Case Study, September 2012, CSEG Recorder Online, 16.07. 2013

11. Walt Lynn, 3D, 4D, and Beyond, Journal of Petroleum Geophysics, January, 1998

12. Shawn C. Maxwell, Theodore I. Urbanic, The role of passive microseismic monitoring in the instrumented oil field. The Leading Edge, June 2001

13. PanAmerican adds microseismic and cable-less to its technology portfolio www.fb.edge.org/publication/content?id=65595

14. Wireless Seismic Announces the Purchase of RT System 2 by MicroSeismic to

Monitor Hydraulic Fracturing Operations, Free Online Library [2012],

www.thefreelibrary.com

15. Louise Durham, Heading in a new direction, OilField Technology, October [2010],

www.nodalseismic.com

16. Perry Fischer, Are wireless seismic systems the wave of the future? Or are they a

niche system?. Worldoil, Vol. 228 #10/October 2007

17. Методические рекомендации к технической инструкции по наземной сейсморазведке при проведении работ на нефть и газ. Министерство природных ресурсов России.[2002]

▼ Табл. 3. Сравнительные технические характеристики бескабельных сейсморегистрирующих систем зарубежного и отечественного производства

Наименование БТСС Параметр	UNITE (Sercel, Франция)	RT System2 (Wireless Seismic System США)	hyMesh SIGMA (iSeis, США)	FireFly DR31 (INOVA Китай)	GSR (OYO GEOSPACE США)	Z Land (Fairfield Indurtries США)	Hawk SN11 (INOVA, Китай)	Autoseis HDR-1 (Global Geophysical, США)	SCOUT (ОАО «СКБ СП», Россия)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Общие характеристики системы	Значение параметров								
Максимальное число каналов	10000 (нет ограничений в автономн. режиме)	10000	10000	50000	50000	Нет ограничений	Нет ограничений	Нет ограничений	Нет ограничений
Режимы регистрации сейсмоданных	В реальном времени Автономный Смешанный	В реальном времени	В реальном времени Автономный Смешанный	Полуавтономный	Автономный	Автономный	Автономный	Автономный	Автономный
Контроль состояния профиля в реальном времени	Есть	Есть	Есть	Есть	Нет	Нет	Нет	Нет	Есть
Длительность непрерывной записи	20 суток	Н/д	30 суток	1,5 суток (со стандартной батареей)	30 суток	12 суток	20 суток	40 суток	25 суток
Выходной формат	SEG-D	SEG-Y, SEG-D	SEG-Y, SEG-D	SEG-Y	SEG-2, SEG-D	SEG-D	SEG-Y	SEG-Y	SEG-Y, SEG-D
Блок сбора данных	Значение параметров								
Число каналов в блоке	1,3	1	3	1, 2 или 3	1, 2, 3 или 4	1	3	1	1, 2 или 3
АЦП	24 разр.	24 разр.	24 разр.	24 разр.	24 разр.	24 разр.	32 разр.	32 разр.	24 разр.
Период квантования	0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0 мс	0.5, 1.0, 2.0, 4.0 мс	0.0208, 0.0625, 0.125, 0.25, 0.5, 1.0,	0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0 мс	0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0 мс	0.5, 1.0, 2.0, 4.0 мс	0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0 мс	1.0, 2.0 мс	0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 4.0 мс
Внутр. память	Н/д	Н/д	До 32 Гбайт	16 Гбайт	4 Гбайт	2 Гбайт	До 16 Гбайт	8 Гбайт	До 32 Гбайт
Точность временной синхронизации	< 1 мкс	Н/д	± 1 мкс	± 50 мкс	< 1 мкс	± 100 мкс	Н/д	25 мкс	25 мкс
Макс. входной сигнал	Н/д	1.768 В RMS	3.58В р-р	1.768 В RMS	1.8 В RMS	442 мВ RMS	442 мВ RMS	Н/д	1.768 В RMS
Усиление предусилителя	0, 12, 24, 36 дБ	0, 12, 24, 36 дБ	6, 30 дБ	0, 6, 12, 18, 24, 30 дБ	Н/д	0, 6, 12, 18, 24, 30, 36 дБ	0, 6, 12, 18, 24, 30, 36 дБ	Н/д	0, 12, 24, 36 дБ
Частотный диапазон	0 – 1600 Гц	0 – 1600 Гц	0 – 15 кГц	1 – 1652 Гц	0 – 1600 Гц	0 – 800 Гц	0 – 1652 Гц	0 – 400 Гц	0 – 1600 Гц
КНИ	- 100 дБ	0.0002%	Н/д	-106 дБ	0.0005%	0.0006%	0.0001%	105 дБ	0.00035% (-109 дБ)
Входной шум	Н/д	0.93 мкВ	0.2 мкВ RMS	0.7 мкВ	0.17 мкВ	0.4 мкВ	0.8мкВ RMS	Н/д	0.17 мкВ
Фильтры	ФВЧ, ФНЧ, РФ	ФНЧ, РФ	ФВЧ, ФНЧ, РФ	ФНЧ, РФ	ФНЧ, РФ	ФВЧ, ФНЧ, РФ	ФНЧ, РФ	Н/д	ФНЧ, ФВЧ, РФ
Общий динам. диапазон	120 дБ	143 дБ	144 дБ	150 дБ	140 дБ	Н/д	150 дБ	160 дБ	140 дБ
Мгновенный динам. диапазон	Н/д	125 дБ (усил. 0 дБ)	118 дБ	130 дБ (усил. 6 дБ)	124 дБ	Н/д	130 дБ (усил. 0 дБ)	132 дБ	124 дБ
Взаимн. влияния	Н/д	Н/д	-125 дБ	Н/д	Н/д	Н/д	Н/д	Н/д	- 120 дБ
Подавление синфазных помех	100 дБ	>100 дБ	>100 дБ	-110 дБ	-120 дБ	> 90 дБ	>110 дБ	Н/д	>100 дБ
Потребляемая мощность (регистрация)	1.3 Вт 1.6 Вт*	Н/д	3.48 Вт	0.55Вт/канал	Н/д	Н/д	0.36 Вт/на 1 аналоговый канал	0.3 Вт	0.35Вт/канал (1 каналн.) 0.13Вт/канал (3 каналн.)
Внутренняя батарея	Есть	Нет	Есть	Нет	Нет	Есть	Нет	Нет	Есть
Внешняя батарея	Есть	Есть (2 шт)	Есть	Есть	Есть	Нет	Есть	Есть	Есть

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Вес	1.3 кг с внутр. батарей Емк. 4.8 А-ч	1.8 кг без батарей	5.7 кг с внутр. батарей	2.36 кг без батареи	0.9 кг без батареи	2.0 кг с внутр. батарей	1,72 кг. без батареи	0.317 кг без батареи	1.5 кг с внутр. батарей Емк. 10 А-ч
Встроенные системные тесты	Состояние батарей Состояние GPS Уровень сигнала WLAN	Шум КНИ Состояние батарей	Точность усиления Реакция на импульс Шум Дин. диапазон Взаимные влияния КНИ	Шум Подавление синф. помех КНИ Взаимные влияния	КНИ Реакция на импульс Входн. шум Шум геофона Мгн. дин. диапазон Подавление синфазного сигнала	Питание Регистрация Ошибка	Калибровка Шум/ смещение КНИ Подавление синф. помех АЧХ Взаимные. влияния Коэф. усиления	Н/д	Состояние батарей Состояние GPS Состояние WiFi Шум Контроль амплитуды и фазы тестового сигнала КНИ Смещение нуля Подавление синф. сигнала Температура в блоке
Встроенные тесты геофона	Шум, Спротивл. КНИ Подавление синф. помех Наклон* Шум* Гравитация* Усиление* КНИ* Фаза*	Спротивл. Изоляция	Спротивл. Собст. частота Коэффициент затухания	Спротивл. Изоляция Шум Коэф. преобр. Собств. частота Затухание КНИ	Спротивл. КНИ	Нет	Спротивл. Изоляция Шум Наводка ЛЭП Подавление синфазн. помехи КНИ Собств. частота Затухание	Спротивл.	Шум Спротивл. Изоляция Смещение нуля Наклон
Индикация Технического состояния блока	Светодиоды	Светодиоды	Светодиоды	Светодиоды	Светодиоды	Светодиоды	Светодиоды	Светодиоды	Светодиоды
Тип используемых датчиков	Геофоны MEMS акселеро- метры.	Геофоны	Геофоны Гидрофоны	Геофоны MEMS акселерометры	Геофоны	Геофоны	Геофоны MEMS акселеро- метры	Геофоны	Геофоны
Наличие встроенной GPS	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть	Есть
Радиопередача									
Информация, передаваемая по радио	Сейсмич. информация Состояние батарей Состояние памяти (В реальном времени) Запуск регистрации	Сейсмич. информация Состояние блока Состояние батарей Состояние памяти (В реальном времени) Запуск регистрации	Сейсмич. информация Состояние блока Состояние батарей Состояние памяти (В реальном времени) Запуск Регистрации	Состояние блока Состояние памяти Состояние профиля Атрибуты качества сейсмозаписи (В реальном времени)	Нет	Нет	Состояние блока Состояние батарей Состояние памяти (В нереаль- ном времени)	Нет	Сейсмическая информация Состояние блока Состояние батарей Состояние памяти (В нереальном времени)
Технология радиосвязи	WLAN	WiFi Mesh	WiFi Mesh	Bluetooth WiFi УКВ	Нет	Нет	Bluetooth WiFi	Нет	WiFi Ethernet
Рабочий темпер. Диапазон	- 20 - + 60°C	- 40 - + 75°C	- 20 - + 60°C	- 40 - + 65°C	- 40 - + 85°C	Н/д	- 40 - + 65°C	- 50 - + 85°C	- 40 - + 65°C
Влажность	0 – 100%	0 – 100%	0 – 100%	0 – 100%	0 – 100%	0 – 100%	0 – 100%	0 – 100%	0 – 100%

* отмечены параметры, касающиеся БСД с MEMS акселерометром