

## RTSystem 2 - новое поколение сейсморегистрирующих систем

■ Кузьмичев В.Е., представительство компании "Wireless Seismic, Inc.", г.Москва

*За последние три десятилетия нефтегазовая промышленность совершила настоящий прорыв в эффективности геофизики, разведки и добычи. Достижения в области получения сейсмических данных позволяют сегодня собирать больше данных значительно быстрее и с большей надежностью, качеством и пониманием подземной геологической структуры.*

*Несмотря на неоднозначность мнений относительно будущего отрасли, неоспоримым остается тот факт, что глобальный спрос на энергию продолжит расти, и потребность в передовых технологиях будет отражать этот экспоненциальный рост. Дальнейшее совершенствование сейсмической технологии делает возможным более точный и надежный сбор данных, благодаря чему может быть достигнут уровень производства, который удовлетворит мировой спрос на энергоносители на десятилетия вперед.*

Существующие проблемы в наземной сейсморазведке разнообразны и, зачастую, труднопреодолимы с использованием существующих технологий выполнения сейсморазведочных работ. Некоторые из этих проблем связаны непосредственно с выявлением целевого объекта - трудные подповерхностные условия, сложные структуры, еле заметные стратиграфические ловушки, трещиноватые коллекторы и необходимость поиска все более глубоко залегающих объектов. Другие проблемы являются чисто производственными и связаны с ужесточением общих требований к снижению затрат и потерь времени при проведении полевых работ, сокращению рабочих циклов и обеспечению безопасных, здоровых и экологических условий.

Все это требует от геофизиков использования последних достижений в области аппаратуры и методик.

В последнее время рядом компаний успешно разрабатываются и активно внедряются в производство бескабельные телеметрические сейсморегистрирующие системы. Три важные технологические инновации обеспечили возможность создания современных бескабельных сейсморегистрирующих систем. 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 (интегральных схем) GPS, обеспечивших возможность использования сигналов GPS для синхронизации работы системы возбуждения сейсмических колебаний и всех бескабельных систем.

Первыми действительно успешными бескабельными системами стали так называемые «автономные узлы» - модули, к которым подключаются сейсмоприемники (или группы сейсмоприёмников), собирают данные и хранят их во встроенной памяти. Большинство таких систем получают время и локацию при помощи GPS. Автономные узлы получили быстрое распространение на рынке благодаря тому, что их легко развернуть в полевых условиях.

Однако в идеале подрядчики и нефтяные компании хотели бы получать информацию в режиме реального времени, так же как это происходит при использовании кабельных систем, но без необходимости иметь дело с эксплуатационными расходами, связанными с кабелями, и их негативным влиянием на безопасные и здоровые условия труда, а также экологию района проведения работ..

Передача данных по радиоканалу – сложная задача. Разрешенный метровый УКВ диапазон, который использовался в ранних системах, не обеспечивает передачу информации, поступающей с тысяч сейсмических каналов, со скоростью, достаточной для того, чтобы не сдерживать работу сейсмической партии. Кроме того, чтобы соответствовать минимальным требованиям логистики, для работы в данном диапазоне необходимо использование слишком мощных батарей. С другой стороны, недорогие и маломощные 2,4 ГГц радиочипы не обеспечивают возможность бесперебойной передачи данных при наличии препятствий (лес, гористая местность и т.д.).

Тем не менее, компании Wireless Seismic Inc. удалось разработать систему RTSystem 2, доставляющую данные в сейсмостанцию в режиме реального времени. При использовании данной системы производится оперативный контроль уровня шумов и качества данных в течение всей сейсмосьемки.

### **RTSystem 2 - система для работы в реальных условиях в реальном времени**

RTSystem 2 является системой регистрации сейсмических данных, разработанной и изготовленной для непосредственной замены традиционных кабельных систем, широко используемых для изучения нефтегазоперспективных территорий, а также разведки других ресурсов.

RTSystem 2 включает в себя стандартные элементы наземной сейсморазведочной системы: дистанционно расположенные модули высокоточной регистрации данных; инфраструктуру для передачи сейсмических данных с распределенных модулей (посредством беспроводной телеметрии вместо кабелей); и централизованную компьютерную систему обработки данных, осуществляющую функции отображения, хранения и управления данными.

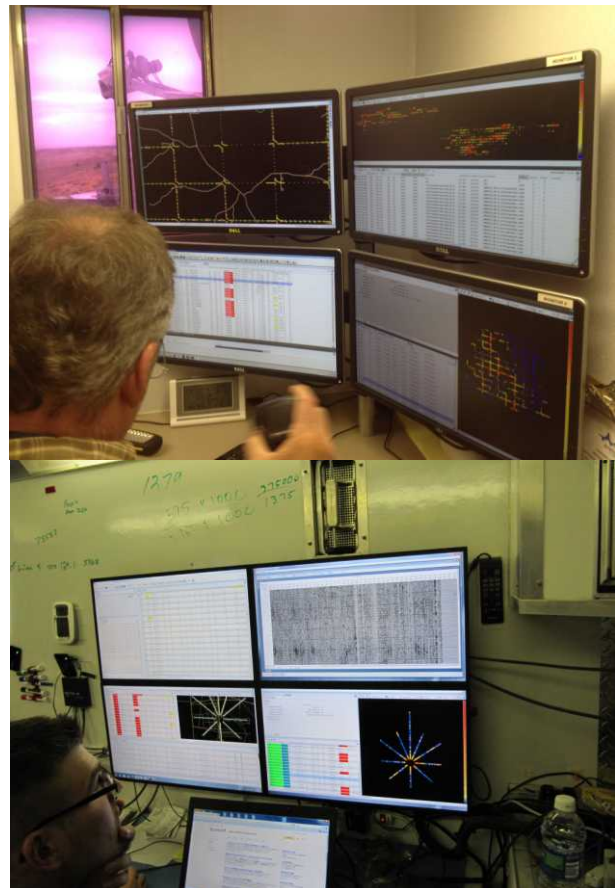
Основным модулем регистрации данных является бескабельной полевой модуль (WRU). Это небольшой модуль, содержащий аналого-цифровой преобразователь, схемы цифрового управления и приемопередатчик, работающий в диапазоне 2,4 ГГц. Каждый WRU питается от одной или двух литий-ионных аккумуляторных батарей. Система оцифровывает сигналы, поступающие с внешних аналоговых геофонов. Функция телеметрии реализуется посредством двухэтапной системы связи: вдоль линии между WRU, а затем поперек линий посредством высокоскоростной трансляционной сети. WRU передают сейсмические данные через друг друга по линии(профилю). Каждый WRU получает данные от соседнего WRU, находящегося дальше в нисходящем направлении, а затем отправляет оба набора данных в восходящем направлении к следующему WRU. Так как расстояние между WRU равно обычному расстоянию между группами сейсмоприемников при сейсморазведочных работах, они расположены недалеко друг от друга. Благодаря тому, что приемопередатчики потребляют минимальную мощность, система может работать долгое время при небольшой емкости батарей.

После того как данные попадают в трансляционную сеть, их собирает межлинейный полевой модуль (LIU). LIU

выполняет функции интерфейса между сетью WRU и трансляционным оборудованием. В LIU имеется несколько Ethernet-портов, к которым можно напрямую подключить либо компьютер, либо, что делается чаще, армированный оптоволоконный кабель или трансляционный радиопередатчик. Трансляционные радиопередатчики работают в диапазоне 5,8 ГГц. Вторую группу WRU можно развернуть по другую сторону от LIU, симметрично или асимметрично вокруг него.

Далее в нисходящем (с уменьшением нумерации линий) направлении по трансляционной линии расположен еще один LIU со своими двумя линиями WRU и подобная расстановка продолжается до получения ряда параллельных соединений вдоль линии и трансляционных соединений поперек линий. Трансляционная сеть также выполняет функции системы связи, передавая информацию между точками трансляции. Если необходимо, оптоволоконный кабель можно заменить радиолнией трансляционной сети. В любом случае схема размещений напоминает стандартную конфигурацию кабельной сейсморазведочной системы.

В определенной точке трансляционной инфраструктуры данные прибывают в центральную систему регистрации. Центральная система смонтирована в стойке с двумя компьютерами, настроенными по типу «клиент–сервер» (рис. 1). Обычно система устанавливается в передвижной регистрирующей станции со всем дополнительным оборудованием, необходимым для проведения сейсморазведочных работ: приемопередатчиками, системой управления сейсмоисточника, дисплеями, ИБП, системами хранения данных и т. д. Внутри передвижная центральная система регистрации бескабельной сейсморегирующей системы выглядит и работает почти так же, как пере-



▲ Рис. 1. Центральная система регистрации

движная центральная система регистрации кабельной системы.

Так как RTSystem 2 работает и регистрирует данные в режиме реального времени, оператор может контролировать характеристики расстановки и быстро проверять статус системы. Для выявления шумов расстановки можно использовать воздушный прибор контроля расстановки.

RTSystem 2 может выполнять синхронное и асинхронное накопление и корреляцию, поэтому ее можно использовать с различными типами источников - взрывами, падающими грузами, импульсными источниками и сейсмическими виброисточниками.

### **Бескабельный полевой модуль (WRU)**

WRU является важнейшей частью RT System 2. В водонепроницаемом алюми-





▲ Рис. 2. На внешней части корпуса WRU расположены: антенна повышенной прочности диапазона 2,4 ГГц; стандартный разъем геофона; антенна GPS; статусные индикаторы и две аккумуляторные батареи (по одной с каждой стороны)

ниевом корпусе находятся аналого-цифровой преобразователь, приемопередатчик, модуль GPS, тестовые схемы, блоки питания и, конечно же, микропроцессоры (рис. 2).

Аналого-цифровой преобразователь представляет собой 24-разрядный преобразователь новейшей конструкции — микросхему, широко применяемую практически всеми производителями сейсморазведочных систем. В совокупности с высококачественными схемотехническими платами модуль обладает выдающейся линейностью характеристик и динамическим диапазоном.

Схема комплексной самодиагностики объединена с электронными компонентами системы регистрации данных. WRU может проверять доступную емкость батареи, местонахождение по GPS, инструментальные шумы, гармонические искажения, точность усиления, шумы расстановки, утечки, сопротивление и импеданс геофонов.

Гармонические искажения особенно трудно протестировать при помощи полевого прибора, так как измерительный генератор должен создавать достаточно низкие искажения, чтобы срав-

няться с показателями преобразователя или превзойти их. В RTSystem 2 установлена инновационная схема, которая удовлетворяет этому требованию, поэтому показатели в этой области гарантированы.

WRU выполняет две основные функции: оцифровка аналоговых сигналов геофонов и передача данных в восходящем направлении по линии к LIU. Каждый WRU получает сейсмические данные от WRU, находящегося дальше в нисходящем направлении, добавляет собственные данные и передает сводные данные в восходящем направлении. Перемещение данных подобным образом требует от WRU переключения между режимами приема и передачи.

В каждом WRU установлена одна или две литий-ионные аккумуляторные батареи. При двухбатарейной конфигурации система интеллектуального управления питанием первоначально выбирает для питания батарею с меньшим уровнем заряда. Когда данная батарея разрядится, система переключается на батарею с более высоким уровнем заряда. Разряженные батареи можно заменить в полевых условиях, но во многих полевых работах заряда батарей хватает до момента свертывания сети WRU. За состоянием батарей непрерывно следит централизованная система управления. В полевых условиях специалисты отряда определяют, какие батареи требуют замены, по показаниям светодиодных индикаторов.

Подсистема GPS определяет примерное местоположение WRU и эту информацию впоследствии может использовать центральная система управления для привязки данных с этого WRU к его координатам, устраняя необходимость в контрольном устройстве переносного типа. Оператор центральной системы





▲ Рис. 3. Конструкция WRU предусматривает быстрое развертывание не имеющими специальных навыков работниками без применения портативных устройств

управления может просмотреть расположение других WRU, что является полезной возможностью при наладке линий, если WRU не был помещен возле пикета.

WRU являются компактными и прочными регистрирующими модулями, предназначенными для быстрого развертывания работниками, не обладающими специальными навыками, без использования портативных компьютеров (рис. 3).

Группа индикаторов состояния на WRU позволяет контролировать процесс развертывания. Если в геофоне, GPS, радиоприемнике или батарее произойдет сбой, загорится красный индикатор. Индикаторы А и В показывают, какая батарея используется. Каждый индикатор мигает во время проверки для предоставления визуальной обратной связи. В целом, постоянно горящий красный индикатор указывает на проблему, и комбинацию горящих светодиодов можно использовать для получения информации с целью наладки линий.

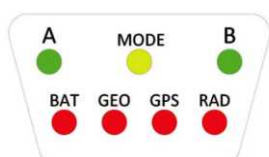
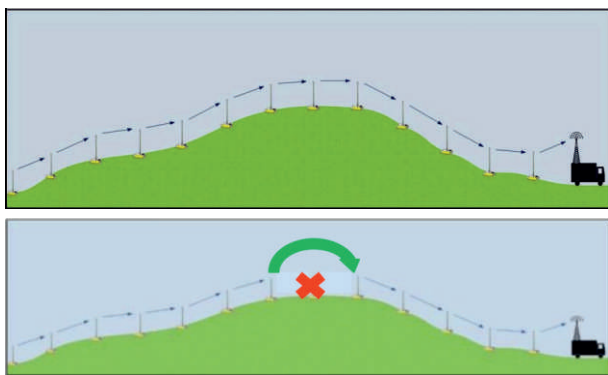


Схема радиосвязи/модема передает данные в диапазоне 2,4 ГГц, в который входят частоты от 2,400 до 2,4835 ГГц. В США и других странах действуют нормы, регулирующие использование этих каналов. В частности, RTSystem 2 использует технологию, которая называется «расширение спектра скачкообразной сменой частоты» (FHSS) и заключается в том, что передатчики переключаются между каналами в псевдослучайной последовательности, чтобы один канал не оказался занят в течение продолжительного времени, освобождая частотный диапазон для других WRU, находящихся поблизости. За редким исключением, RTSystem 2 можно использовать по всему миру без лицензии. Система RTSystem 2 полностью сертифицирована Федеральным агентством по связи США (FCC) и соответствует требованиям CE. В России система также получила все соответствующие сертификаты.

Приемопередатчики 2,4 ГГц работают при различных уровнях мощности, которые автоматически корректируются во время включения телеметрии. Указывается заданная мощность принимаемого сигнала и WRU подстраивает свою мощность передачи для поддержания данного уровня. При необходимости WRU можно разместить на возвышениях или более высоких точках пересеченной местности. В линии также можно разместить дополнительный WRU в качестве радиоретранслятора (репитора) с целью нейтрализации помех, вызванных крупным препятствием.

Дальность передачи на минимальной мощности между WRU невелика по стандартам радиосвязи. От них требуется передавать данные через одну группу сейсмоприемников, что обычно составляет от 25 до 75 метров. На рис. 4 показан поток передаваемых данных. В случае

возникновения проблем приемопередатчики могут пропускать один модуль. Автоматический пропуск позволяет оператору отключить точку, где произошел сбой, и восстановить линию, «перепрыгнув» через проблемный узел. Пропущенный модуль может быть снова включен после устранения проблемы.



▲ Рис. 4. Поток передаваемых данных

Сигналы также передаются в противоположном направлении, от центрального компьютера к WRU, с целью обеспечения точности дискретизации и передачи команд, таких как - шаг дискретизации и инструкции по проведению испытаний. Следует помнить, что в любой момент времени половина WRU передают данные, а половина принимают. Данная система позволяет избежать проблем с ограниченным количеством каналов и полосой частот, с которыми сталкивались предыдущие модели бескабельных сейсморазведочных систем, так как приемопередатчики работают на небольших расстояниях и все находящиеся поблизости модули используют другие частоты. Эта патентованная методика максимально увеличивает доступную пропускную способность полосы частот. Вторая линия WRU обычно работает на противоположной стороне от LIU. Эта линия использует обратную часть цикла приема-передачи, поэтому LIU большую часть времени находится в цикле получения данных.

RTSystem 2 работает в двух режимах регистрации:

- 1) непрерывная регистрация и
- 2) данные по запросу (DoD)

с функцией защиты данных DataSafe для наиболее распространенного режима регистрации сейсмических данных.

В режиме непрерывной регистрации сейсмические данные передаются по линии в восходящем направлении в реальном времени. Доступная полоса частот режима реального времени позволяет всей линии насчитывать приблизительно 400 WRU при шаге дискретизации 2 мс (200 на каждой стороне от LIU).

В режиме DoD сейсмические данные временно накапливаются в WRU, пока не будут запрошены централизованной системой регистрации. Так как регистрация и сбор данных осуществляются по отдельности, регистрация может продолжаться долгое время без ожидания сбора данных. Данная функция называется Rapid Fire. Данные остаются в сейсмическом буфере до момента сбора или свертывания модуля. Даже в случае разрыва линии данные сохраняются и будут автоматически собраны после устранения проблемы.

WRU поддерживает суммирование, метод, который можно применять для повышения скорости сбора данных в линии в режиме реального времени, например, в случае виброисточника.

### Применение технологии Компании Wireless Seismic при мониторинге гидроразрыва пласта

При сборе и регистрации сейсморазведочных данных в процессе мониторинга процесса гидроразрыва пласта (ГРП), как правило, используются те же системы регистрации данных, что и для записи стандартных сейсмограмм. Однако требования к организации и осуществле-

нию проектов ГРП, значительно отличаются от требований к традиционным проектам сейсморазведки. Это связано с тем, что проекты ГРП часто кратковременны, ограничены графиком обработки и насосными работами. Для сбора и регистрации данных в процессе выполнения работ ГРП, простота развертывания и возвращения системы имеет первостепенное значение для обеспечения эффективности и гибкости операций. Системы сбора и регистрации данных должны приспособливаться к изменениям на объекте и не требовать слишком много внимания в течение всего периода времени разработки скважины.

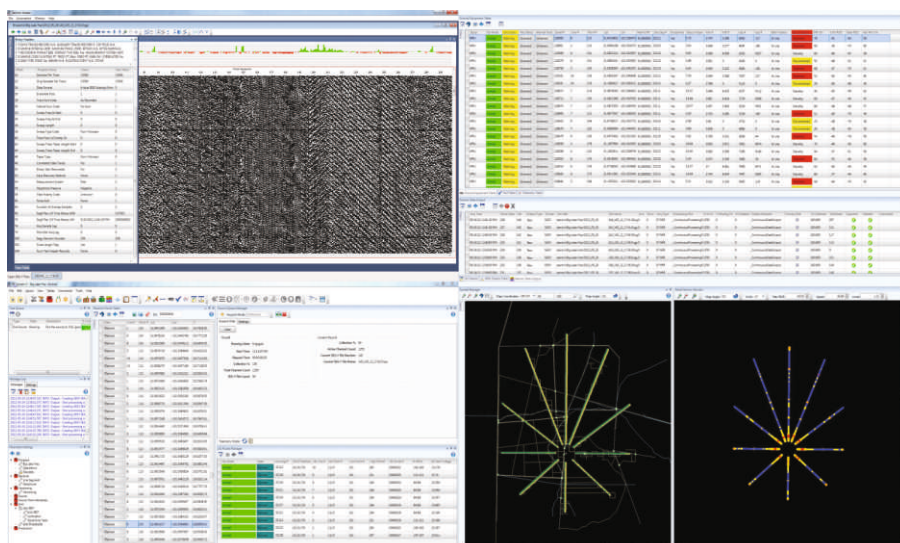
Результаты, как неотъемлемая часть операций по ГРП, должны быть получены максимально быстро в ходе каждого гидроразрыва или после каждого гидроразрыва. При использовании существующих бескабельных систем, которые требуют запоминания и последующего съема данных, получение предварительных результатов может занимать около месяца и более. Кабельные системы не имеют таких ограничений, так как способны передавать потоки информации в режиме реального времени и, таким образом, предварительные результаты доставляются во время работ ГРП или вскоре после них. Тем не менее, логистика кабельной системы иногда может

оказаться непростой задачей, требуя прокладки кабеля в местах с ограниченным доступом, сложным естественным рельефом, включающим такие объекты, как встречающиеся на пути реки, дороги и ограды. Поскольку ГРП часто требует обработки и анализа зарегистрированных пассивных микросейсмических данных в режиме реального времени, система регистрации данных должна обеспечивать сплошной непрерывный поток данных в центральную систему регистрации от каждого полевого модуля. Тогда эти данные могут быть обработаны в режиме реального времени, позволяя инженерам увидеть результаты на месте, во время проведения работ. Таким образом, для них будет обеспечена практическая информация, на основании которой они могут анализировать и оценивать эффективность каждого этапа ГРП, действовать согласно полученным результатам, принимая решения по мере продвижения работы. Это дает возможность обеспечить планирование последующих стадий работ ГРП и разработки скважин.

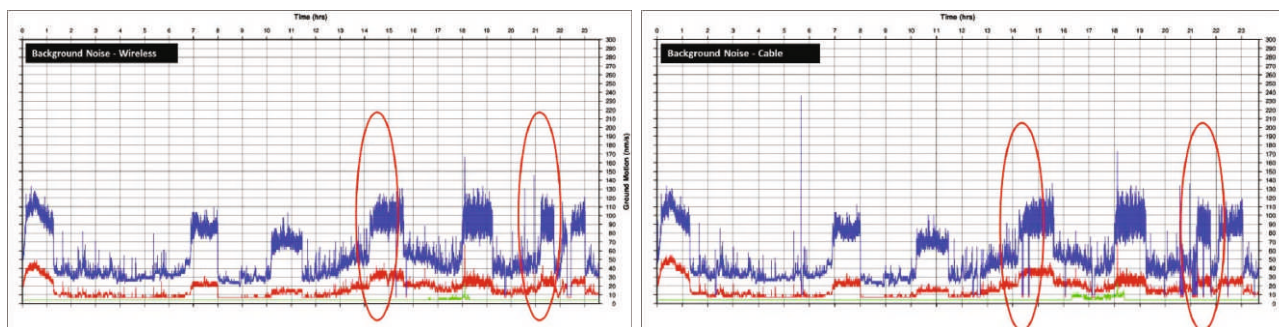
### Сбор данных

Точные, пригодные для использования микросейсмические данные, зарегистрированные в ходе операций ГРП, имеют решающее значение для успешного текущего контроля гидроразрыва, обес-

- *Рис. 5. Снимок экрана, показывающий статус каждого регистрирующего канала, микросейсмические события и мониторинг шумов в режиме реального времени*







▲ Рис.6. Фоновые шумы изображены для идентичных 24 часовых периодов параллельной работы бескабельной (сверху) и кабельной (внизу) систем для сравнительного анализа. Результаты показывают одинаковую реакцию на шумы окружающей среды на 15-м (зеленым цветом), 50-м (красным цветом) и 84-м (синим цветом) процентилях. Соответствующие временные разрезы показаны в месте, где кабельный участок показал прерывание сигнала.

печивая результаты, включающие в себя понимание высоты разлома, половинной длины и горизонтального направления на каждой стадии гидроразрыва. Учитывая моментальность операции, здесь, в отличие от традиционной сейсморазведки, нет возможности провести разведку (взрыв) повторно по каким-либо причинам. Таким образом, система сбора и регистрации данных, используемая для микросейсмического наземного мониторинга ГРП, должна быть надежной, обеспечивать развертывание в самых разных условиях и быть способной обеспечивать потоковую передачу данных непрерывно в ходе гидроразрывной операции.

Бескабельная система сбора и регистрации данных RTSystem 2, способна осуществлять потоковую передачу данных 24 часа в сутки и уже прошла тестирование на многих проектах ГРП. Уникальное исполнение бескабельной системы сбора и регистрации данных гарантирует целостность оборудования, развертываемого при любых обстоятельствах. Система способна, одновременно с непрерывной регистрацией данных, производить проверку работоспособности оборудования, используемого для сбора и регистрации данных, обеспечивая максимальное количество данных, собранных без проблем. Система способна выполнять диагностические проверки на разверну-

том полевом оборудовании, проверяя данные по мере их получения, сводя, в отличие от кабельных систем, к минимуму действия по поиску и устранению неисправностей.

На одном из начальных этапов полевых испытаний бескабельного сейсморазведочного оборудования, для сравнительной оценки точности получаемых данных бескабельная система была установлена рядом с кабельной. Фоновые шумы были зарегистрированы обеими системами. 15-й, 50-й и 84-й процентиля фоновых шумов были отмечены на 24 часовой оси (Рис. 6). Перебои в записи легко определить в месте, где кривая 85-го перцентиля падает до нуля. Графическое отображение результатов, полученных при помощи бескабельной и кабельной систем, не только показало одинаковую реакцию на шумы, но и продемонстрировало тот факт, что бескабельная система менее подвержена сбоям при передаче сигнала, по сравнению с кабельной системой (показано на рис. 6), сбои передачи данных в которой зачастую связаны с разрывом кабеля (из-за диких животных, домашнего скота, автомобилей и тд.).

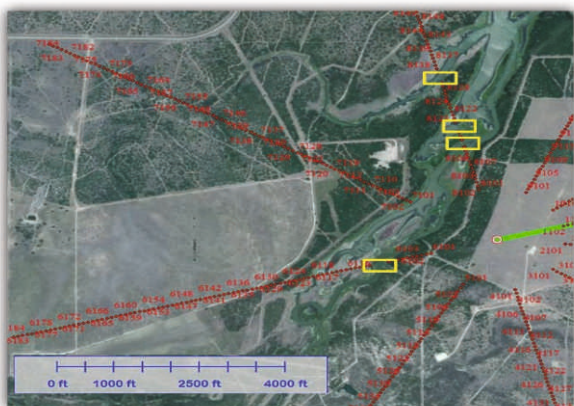
Бескабельная система сбора и регистрации данных RTSystem 2 предлагает значительные преимущества по сравнению с другими бескабельными система-

ми, поскольку они, как правило, обеспечивают возможность обработки и анализа данных лишь после регистрации и съема данных, что исключает возможность оперативного контроля в режиме реального времени.

При наземной расстановке сейсмоприемников возможность обхода помех и препятствий, находящихся на поверхности, является огромным преимуществом. Такие препятствия, как, например, реки, озера, дороги, железнодорожные линии и др., могут значительно осложнить проектирование оптимальной расстановки сейсмоприемников и регистрацию данных. Ограничение доступа можно уменьшить или даже избежать, «перепрыгнув» через эти препятствия. На рисунке 7 выделено несколько недоступных зон (желтым цветом), связанных с наличием реки. Благодаря использованию бескабельного оборудования, труднодоступные зоны не повлияют на конфигурацию и компоновочную схему системы.

#### Поток данных и его обработка

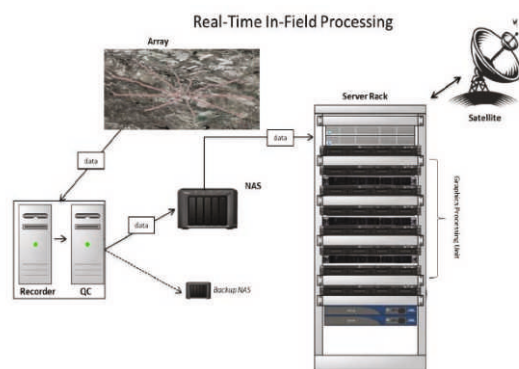
На рисунке 8 показан поток данных, проходящий через систему в режиме реального времени. Массивы данных от каждой сейсморазведочной станции



▲ Рис. 7. Карта расстановки сейсмоприемников в виде звезды с использованием бескабельного оборудования. Желтым цветом выделены препятствия, которые бы повлияли на оптимальную компоновочную схему при использовании кабельной системы.

мониторинга отправляются на записывающее устройство, их качество проверяется, и данные сохраняются на сетевом устройстве хранения данных (NAS-устройство). Из него данные постоянно передаются на графический процессор (GPU-устройство). Предварительная обработка таких данных, включающая в себя объединение геометрических данных, полосовую фильтрацию и применение алгоритмов уменьшения шумов, выполняется перед визуализацией данных.

#### Обработка в режиме реального времени на объекте



▲ Рис. 8. Пример прохождения потока данных через систему регистрации данных в режиме реального времени.

Местоположение и временные характеристики обнаруженных микросейсмических явлений становятся доступными для представителей заказчика (часто работающих удаленно), наблюдающих процесс и анализирующих итоговый набор событий.

Результаты передаются через спутник спустя лишь несколько минут после регистрации.

Результат отображается с помощью любого средства визуализации, способного отображать местонахождение микросейсмических событий. Изображения могут транслироваться любой заинтересованной стороне в режиме реального времени через сеть Интернет при помощи видеоконференц-связи на

основе Web-технологий. Изображения могут также ретранслироваться обратно в передвижную геофизическую лабораторию, ГРП фургон или даже на смартфон, планшет или на КПК. Весь процесс занимает, в целом, от 5 до 10 минут сразу после произошедшего события.

Ключевым для возможности изображения микросейсмического события в режиме реального времени является алгоритм визуализации (Томтон, М. П., Айзнер, Л., 2003 г.), использующий подходящие по условиям кривые сейсморазведочных данных с таблицей времени распространения сигнала, построенной по должным образом откалиброванной скоростной модели. Данная скоростная модель может также компенсировать анизотропию, наблюдаемую в локальной геологии (Айзнер, и др., 2011 г.). В методике используется регулирование направленности при приеме сигнала для регистрации и суммирования введенных сейсморазведочных данных. Она позволяет определять эпицентр микросейсмических событий с высокой точностью.

### **Примеры использования данных в режиме реального времени**

Интерес к микросейсмическому мониторингу ГРП в режиме реального времени растет, поскольку контроль в режиме реального времени позволяет вносить поправки в операции ГРП в соответствии с ответной реакцией месторождения на воздействия. Тем не менее, ГРП не является единственной областью применения мониторинга в режиме реального времени. Примеры применения программы также включают в себя:

#### *Определение общей продуктивности работ ГРП*

Мониторинг в режиме реального времени позволяет определить эффективность воздействия на каждом этапе и показать, что интенсификация скважины достигла проектных целей раньше, чем это предусматривалось планом-прогно-

зом обработки, экономя, таким образом, ресурсы.

#### *Изменение параметров ГРП*

Параметры операции по гидроразрыву пласта могут меняться от стадии к стадии. Соответствующие изменения в микросейсмической реакции могут быть использованы для определения оптимальной расстановки стадий и комплекта перфораторов, а также для определения оптимального количества жидкости, темпов и т.д. Контроль в режиме реального времени обеспечивает предварительные микросейсмические результаты, когда партия еще находится на объекте, позволяя вносить необходимые изменения в программу. Это помогает значительно сократить общий цикл проекта.

#### *Гарантия того, что активность остается внутри зоны*

Например, в нефтегазовой провинции г. Форт-Уорт на юге США, мониторинг в режиме реального времени может быть использован для обнаружения прорыва сланцевого газа месторождения Барнетт Шейл в лежащую под ним смесь карбонатных пород Виола или Элленберг.

#### *Выявление опасных геологических процессов*

В ходе гидроразрывных операций могут возникать небольшие тектонические нарушения. В случае возникновения тектонических нарушений, интенсификацию скважины можно перенаправить на иные интересующие залежи. Соответственно, отбор продукта в небольших объемах может производиться через соответствующие интервалы времени, если это возможно.

#### *Составление карт спровоцированной сейсмичности.*

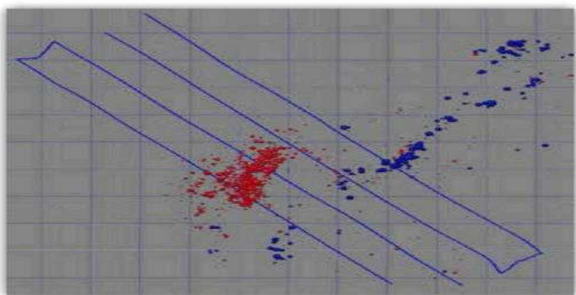
Мониторинг в режиме реального времени может быть использован для выявления микро-сейсмичности, вырастающей в более масштабные сейсмические явления (интенсивностью более 0.0



баллов). Определение предшествующей сейсмичности и микросейсмичности может позволить оператору изменить параметры ГРП (например, давление, расход жидкости) или остановить работы полностью во избежание активации более серьезных явлений.

#### *Пример проекта ГРП*

На рисунке 9 показаны частичные результаты проекта ГРП на группе площадок кустовых скважин (Крац и др., 2012 г.). Данные ГРП в данном случае были собраны с помощью наземной расстановки сейсмостанции. Заказчик не запрашивал обработку в режиме реального времени.



▲ *Рис. 9. Результаты микросейсмического контроля в режиме реального времени. Отслеживание состояния, выделенного голубым цветом, могло бы быть полезным при наличии регистрации данных в режиме реального времени.*

Анализ данного участка скважины показывает микросейсмические события продольного направления (выделены голубым цветом) на значительном расстоянии от разрабатываемой скважины. Эти результаты свидетельствуют о том, что раствор, предназначенный для обработки пласта, проник в трещину в месторождении, имеющей естественное происхождение. Контроль и отслеживание процесса в режиме реального времени помогли бы обнаружить эти события, имевшие место на значительном расстоянии от разрабатываемой скважины, непосредственно во время закачивания раствора, предоставив оператору

возможность изменить план работ.

В следующем номере журнала «Приборы и системы разведочной геофизики» будут представлены материалы по использованию системы RTSystem 2 в сейсморазведочных работах 3Д на Ямале. В России эти работы были выполнены впервые, а вот в мире эта передовая технология используется уже давно и успешно, в том числе на проектах Газпром Нефти в Курдистане, где и был установлен первый рекорд по передаче данных в режиме реального времени.

#### ***Из пресс-релиза «Газпром Нефти», октябрь 2013:***

«На блоке Shakal в Ираке, оператором по изучению которого является «Газпром Нефть», проведена операция, установившая новый мировой рекорд в области сейсморазведки. Во время осуществления сейсморазведочных работ информация передавалась на регистрацию с более чем 6,2 тыс. датчиков при помощи беспроводной записывающей системы RT System 2. По данным компании Wireless Seismic, Inc, производителя используемого сейсморазведочного оборудования, одновременная трансляция данных с такого количества датчиков в режиме реального времени и при помощи беспроводной системы осуществлялась впервые в мире. По результатам предварительной обработки полученной информации, зарегистрированные сейсмограммы по качеству не уступают аналогам, полученным с использованием широко распространенных кабельных телеметрических систем».

#### **Подробнее об авторе**



Кузьмичев  
Владислав Евгеньевич

Директор по развитию  
бизнеса в России и СНГ  
Wireless Seismic, Inc.