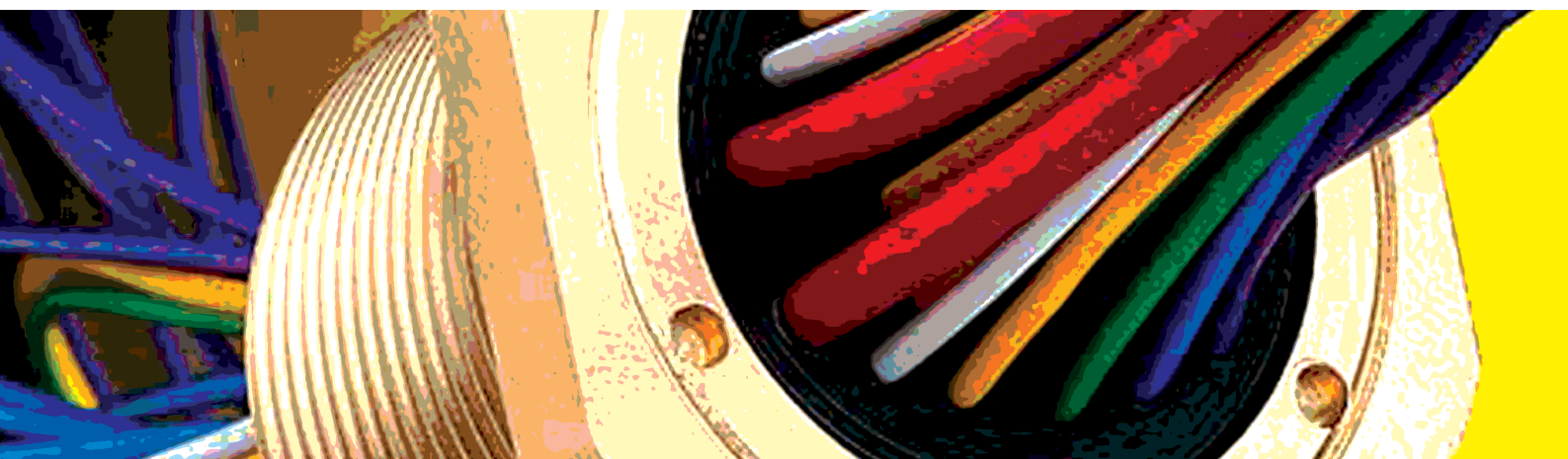


Компания I/O возглавляет революцию в наземной бескабельной многоволновой сейсморазведке



Большинство регистрирующих систем, используемых в настоящее время в наземной сейсморазведке, имеют кабельную архитектуру. В некоторых случаях такие системы наблюдений трудно использовать, и они не очень экономичны. В этой статье **Джим Холлис, Джерри Айсели, Марти Уильямс и Скотт Хоенманс** обсуждают преимущества бескабельной системы следующего поколения, которая обещает внести революционные изменения в наземную сейсморазведку

Нзначение кабелей – обеспечивать электропитание, передавать команды, управляющие сигналами и зарегистрированные сейсмические данные. Однако, кабели обладают также рядом недостатков. Некоторые из этих недостатков являются технологическими по своей природе и непосредственно связаны с размоткой и ремонтом приемных расстановок в поле. Другие относятся к невозможности освещения исследуемой среды с помощью плотной сети одиночных датчиков. В результате, сейсмические изображения не всегда имеют высокое качество.

Если мы сможем исключить кабели при сейсморазведке на суше, наша отрасль окажется на пороге открытия истинных возможностей сейсморазведки: экономичной, многоволновой и обеспечивающей полное освещение среды. Перспективы и трудности, имеющиеся на суше, требуют фундаментального переосмысления наземной сейсморазведки. Мы намерены проанализировать ограничения сегодня-

них кабельных регистрирующих систем и проиллюстрировать преимущества бескабельной системы нового поколения, разрабатываемой компанией I/O.

Требования времени

В последние годы наша отрасль делала упор на разведку значительных запасов углеводородов на море, и иногда казалось, что разведка и разработка на суше почти забыта.

Согласно Геологической службе Соединенных Штатов (USGS), собравшей данные по 25 крупнейшим нефтегазоносным бассейнам по всему миру, большая часть открытых и потенциальных запасов находится на суше (примерно 70% на суше и 30% на море).

Изменения в макрополитической обстановке в ряде стран со значительным потенциалом исследований на суше (например, Ливия, Россия и Венесуэла) вызвали увеличение интереса к наземной сейсморазведке и разработке залежей углеводородов. Другой фактор - открытие 'нетрадиционных' ▶ продолжение / continued

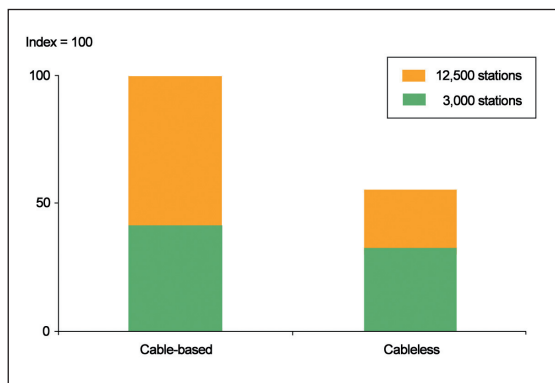


Рис.1 Сравнение стоимости полевых работ с 3000 и 12500 каналами при использовании кабельных и бескабельных регистрирующих систем

► продолжение / continued

газовых залежей на суше, таких как барнетовские сланцы в США.

Нефтяные и газовые компании отдают себе отчет, что сейсморазведка связана с определенными трудностями независимо от типа бассейна, будь он давно разрабатываемым или вновь открытым.

Некоторые трудности связаны с получением изображения самого целевого объекта. Они вызваны неоднородным строением ВЧР, сложнопостроенными структурами, стратиграфическими ловушками малого размера, трещиноватыми коллекторами и необходимостью освещения все более глубоких целевых объектов (часто в пределах разрабатываемых месторождений с высоким уровнем помех). Эти трудности подталкивают компании-операторы к использованию новейших сейсмических технологий и методов, включая многокомпонентные (3-С) цифровые датчики и обработку с учетом анизотропии. Другие трудности являются технологическими и связаны с растущими требованиями к снижению стоимости полевых работ, сокращению времени всего производственного цикла, улучшению техники безопасности и охраны здоровья.

Для преодоления этих трудностей нужна была революция в наземной сейсморазведке. Ключ к общему успеху в нашей отрасли лежит в переосмыслении наших наземных регистрирующих систем и создании бескабельной технологии. Бескабельная технология обладает потенциалом улучшения изображения среды благодаря возможности более гибко проектировать широкоазимутальные съемки с большим диапазоном удалений. Эта технология также позволяет зарегистрировать полное волновое поле с использованием

одиночных трехкомпонентных (3-С) цифровых датчиков.

Кабельная архитектура

Главное назначение кабелей – передавать данные в реальном времени от сейсмоприемников к центральной регистрирующей системе. Хотя возможность просматривать все сеймограммы в реальном времени позволяет оперативно контролировать качество данных, эта удобная возможность обходится довольно дорого с точки зрения технологичности, техники безопасности и качества изображения среды. Кабельные регистрирующие системы обладают следующими недостатками:

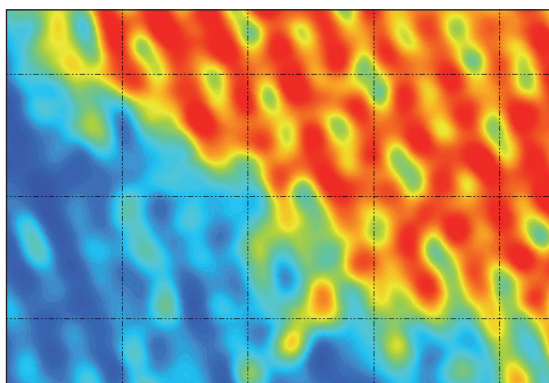
❶ Значительный вес наземного оборудования

Согласно нашим оценкам, при стандартной на сегодняшний день сейсмической съемке, кабели и другое наземное оборудование, обеспечивающее передачу данных по кабелям (например, аккумуляторы и бустеры по питанию) весят не менее 25 тонн. Кабели увеличивают стоимость съемки, поскольку вес напрямую связан со стоимостью транспортных средств и мобилизации сейсмической партии. Мы разработали экономическую модель, согласно которой на вес кабелей приходится до 20% всех технологических затрат при «типичной» наземной съемке.

❷ Рабочая сила и материально-техническое обеспечение

Размотка кабельных систем, их обслуживание и ремонт требуют значительного количества специалистов. Имеются оценки, что 25-50% рабочей силы в полевой партии занято на работах с кабелями. Помимо этого, 50-75%

Рис.2 Погрешности скорости (временной срезы)



специалистов, ответственных за ремонт оборудования, заняты проблемами с кабелями. Большое количество людей, занятых на работах с кабелями, влияет на стоимость работ. Из-за большой численности полевого персонала растет стоимость обучения, мобилизации, питания и проживания.

❸ Проблемы охраны здоровья и техники безопасности

Использование кабелей также усложняет вопросы охраны здоровья и техники безопасности. Как нефтяные и газовые компании, так и подрядчики стремятся к получению наилучших показателей в этой области. В то же время перенос кабелей в сложных поверхностных условиях, особенно в каменистых пустынях с пересеченным рельефом и в песчаных пустынях с высокими дюнами, является опасной операцией.

❹ Ремонт и обслуживание кабелей

В нашей недавней работе с сейсмическими подрядчиками мы обнаружили, что до 50% рабочего времени тратится на выявление неисправностей и обслуживание кабелей. Это непосредственно отражается на стоимости (одна из сейсмических партий, за которой мы наблюдали, тратила около 1000 долларов США ежедневно на ремонт кабелей). Еще больший эффект это оказывало на производительность, поскольку только 50% рабочего времени использовалось на регистрацию данных.

❺ Сложная сетевая архитектура, влияющая на производительность

Большое количество каналов снижает производительное время регистрирующей системы. Повышается вероятность сбоев в линиях приема, и поиск неисправностей часто занимает значительное время. Современные кабельные системы с избыточными путями передачи данных обладают повышенной надежностью, но ценой раскладки еще большего количества кабелей и полевого оборудования.

❻ Неполное освещение среды

Кабельная архитектура накладывает ограничения на проект съемки.

► продолжение / continued

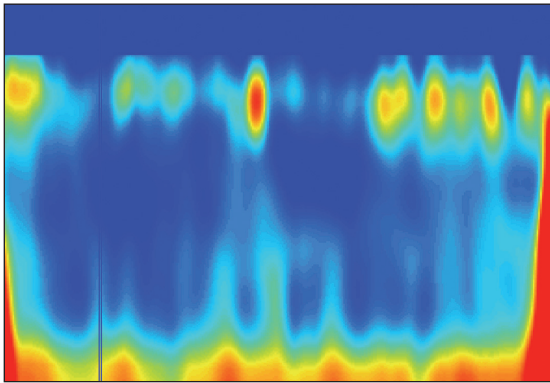


Рис.3 Сечение погрешностей скорости (зависимость от глубины)

Например, сейсмоприемники должны располагаться по равномерной сетке с шагом, приблизительно равным расстоянию между отводами на кабелях. Из-за этого съемку нельзя спроектировать так, чтобы учесть те или иные особенности рельефа, ВЧР или глубинного строения. Помимо этого, уплотнение пунктов наблюдения при кабельной архитектуре становится недопустимо дорогим. Как показано на Рис.1*, стоимость полевых работ со сверхмногоканальной приемной расстановкой повышается при использовании бескабельной системы, но не в такой степени, как при использовании кабельной системы. Мы опросили много геофизиков, и все они согласились с тем, что идеальная съемка должна выполняться с числом каналов, превышающим 50 000. Кабельные системы с таким количеством каналов становятся технологически непрактичными. В результате, кабели ограничивают качество окончательного изображения среды.

* Только стоимость полевых работ. Исключается стоимость землепользования, топогеодезических работ, обслуживания оборудования и услуги субподрядчиков, а также капитальные затраты на оборудование.

Полное и неполное освещение среды

Имеющиеся технологии сейсморазведки 3Д уже не отвечают современным потребностям отрасли в быстром и экономичном выявлении новых перспективных объектов и повышении процента успешного бурения. Недостатки имеющихся технологий напрямую связаны с тем, что можно выполнить экономично и безопасно с учетом ограничений на количество каналов и размеры приемной расстановки.

В качестве примера позвольте

привести газоносный бассейн, в котором главный продуктивный горизонт залегает на глубинах от 2500 до 3500 м. Исторически, только этот горизонт был рентабельным в этом бассейне, за исключением нескольких неглубоко залегающих нефтяных месторождений. В последние годы достижения в методике бурения и гидроразрыва повысили интерес компаний-операторов к разработке более глубоких залежей, в то время как более высокие цены на энергоносители сделали экономически выгодной разработку небольших и неглубоко залегающих залежей нефти и доразведку исходного продуктивного горизонта.

К сожалению, имеющиеся сейсмические данные (даже недавно собранные при широкоазимутальных съемках с высокой кратностью) не подходят для использования на следующем витке разведки и разработки. Главная причина – при использовании традиционных кабельных регистрирующих систем мы просто не можем по экономическим причинам установить большое количество пунктов приема, достаточное для изучения разведываемых объектов на всех глубинах осадочного бассейна.

История применения сейсморазведки в этом бассейне далеко не уникальна. Скорее, она очень похожа на историю сейсморазведки в других бассейнах по всему миру. Первая эра включала регистрацию данных 2Д. За ней последовала эра регистрации узкоазимутальных данных 3Д с ограниченным диапазоном удалений и недостаточной плотностью пунктов наблюдения.

Геофизики компании I/O изучили эффекты недостаточной плотности наблюдений. Было отстреляно несколько широкоазимутальных 3Д-съемок с большим диапазоном удалений, и полученные данные были разрежены, чтобы промоделировать эффекты недостаточной плотности наблюдений. На разреженных данных виден отпечаток системы наблюдений, то есть кинематические и динамические параметры изменяются по площади пилообразно. Пилообразность проявляется еще больше в неглубокой части разреза, поскольку экономичные съемки нацелены на освещение весьма ограниченного интервала глубин. Этот эффект особенно заметен на результатах

миграции до суммирования, но в меньшей степени заметен и на результатах миграции после суммирования.

На ранней стадии сейсморазведки 3Д регистрируемые данные характеризовались низкой кратностью, и геофизики могли решать только структурные задачи и выявлять крупные стартиграфические объекты. Большие удаления, как правило, не регистрировались, и узкоазимутальная природа зарегистрированных данных ограничивала освещение среды и возможности интерпретировать анизотропию и трещиноватость. Применявшиеся системы наблюдений приводили к избыточному дублированию пар источник-приемник на определенных удалениях и к значительным пробелам в распределении удалений.

Конец 90-х годов 20-го века был ознаменован появлением сверхмногоканальных регистрирующих комплексов и улучшением экономики полевых работ. В результате, многие площади в этом бассейне были заново покрыты сейсмическими съемками с более широкими азимутами и большими удалениями. Часто увеличивалось количество активных пунктов приема, и росло количество линий приема. Иногда уменьшался шаг между группами сейсмоприемников, но это не очень помогало улучшить пространственную разрешенность целевых объектов. Проблема эффективного освещения сейсморазведкой только небольшого интервала разреза не была решена.

Рис.2 иллюстрирует погрешности скоростей (временной срез) в широкоазимутальном массиве 3Д. Яркие оттенки красного показывают области, где погрешности определенных по сейсмическим данным скоростей неприемлемы для получения надежного изображения среды. На Рис.3 показано, как погрешности зависят от глубины. Погрешности значительны в глубокой части разреза из-за нехватки удалений и очень изменчивы в неглубокой части разреза из-за непостоянства распределения удалений от бина к бину.

продолжение / continued ►

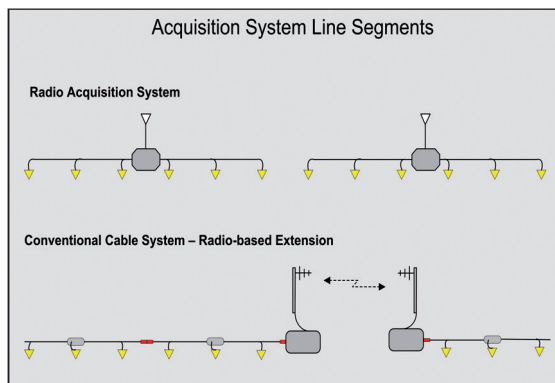


Рис.4а Обычные реализации радиотелеметрии

► продолжение / continued

Интерпретация этих устаревших данных в глубокой или неглубокой частях разреза означает, что геофизикам приходится полагаться на потенциально ненадежные амплитуды. Амплитуды, рассчитываемые по таким сейсмическим данным, в большей степени имеют отношение не к коллекторским свойствам, а к недостаткам технологий регистрации и обработки.

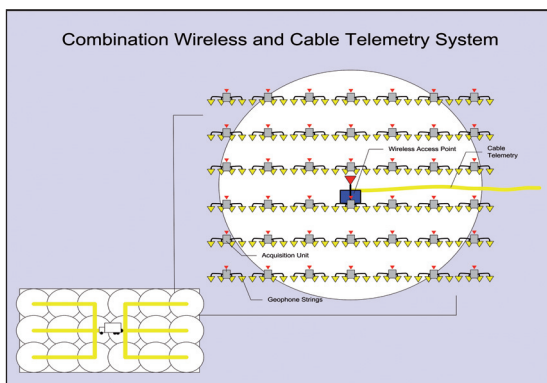
Другой аспект недостаточной плотности наблюдений, который мы здесь не рассматривали, это то, что мы фактически не уменьшили размер бина. Следовательно, мелкие детали пласта-коллектора не получили своего отображения лучше, чем на старых сейсмических данных, за исключением того, что помехи подавлены лучше благодаря более высокой кратности и более широкой азимутальности.

Геофизикам нужны сейсмические данные нового поколения, чтобы правильно отобразить все горизонты в изучаемом разрезе. Для этого необходимо значительно повысить каналность наземных регистрирующих систем, в которых шаг наблюдений не ограничивается использованием кабелей.

Ранние попытки уменьшить количество кабелей

В течение последних десятилетий были опробованы разнообразные беспроводные технологии регистрации сейсмических данных. Однако, ни одна из них не позволила резко повысить производительность и сделать экономичными работы с очень большим числом каналов. Чтобы лучше представить себе возможности имеющихся на сегодняшний день бескабельных систем, мы приводим их общую архитектуру и ограничения.

Рис.4б Обычные реализации радиотелеметрии



На Рис.5 показаны фрагменты линии приема в двух современных наземных регистрирующих системах, использующих радиосвязь. В самом верхнем примере (Рис.5а) несколько пунктов приема подсоединено к общему регистрирующему блоку. Каждый полевой блок снабжен радиотелеметрией для связи с центральной регистрирующей системой. Радиосвязь обеспечивает передачу команд и контроль полевых блоков, но данные не передаются в центральную регистрирующую систему. На нижнем примере (Рис.4а) показана ранняя реализация радиотелеметрии, расширяющей возможности кабельных систем. Здесь радиосвязь между отдельными фрагментами линий приема обеспечивает соединение всех пунктов приема с центральной электроникой.

В третьей реализации радиотелеметрии (Рис.4б) многоканальные полевые блоки соединены с центральными узлами по радио. Эти узлы соединены между собой кабелями и подсоединены к центральной электронике, что образует комбинацию радиотелеметрической и кабельной телеметрической системы. В зависимости от типа применяемого протокола, полоса радиочастот может быть жестко ограничена, что ограничивает практическое использование в крупномасштабных проектах.

В каждой из описанных выше реализаций остается значительное количество кабелей, как для телеметрии, так и для соединения сейсмоприемников с регистрирующими блоками. Потенциальные преимущества этих технологий будут минимальными, пока не появится возможность

значительно сократить количество кабелей.

Переосмысление идеальной наземной регистрирующей системы

Для разработки наземных регистрирующих систем следующего поколения мы можем использовать множество достижений в беспроводной передаче и хранении данных из других отраслей промышленности. На Рис.5 представлено, какую форму может принять новая система. На показанной диаграмме одиночный регистрирующий блок соединен с одиночным цифровым трехкомпонентным датчиком.

Каждый регистрирующий блок имеет независимую двустороннюю связь с центральной электроникой. Пункты приема не соединены между собой телеметрическими кабелями, что позволяет располагать приемники где угодно, а не по регулярной сетке.

Цифровые микроэлектронные датчики измеряют истинное направление колебаний частиц грунта и регистрируют полное волновое поле с непревзойденной точностью восстановления вектора колебаний. Как одиночные приемники, они не подвержены проблеме статики внутри группы и записывают более широкий диапазон частот, прошедших через геологическую среду. Помимо этого, кабели, необходимые для соединения сейсмоприемников в группы, исключаются из наземного оборудования.

Запись данных происходит на самом пункте приема с локальным хранением в твердотельной памяти. Средства контроля качества автоматически извещают оператора о проблемах на той или иной трассе и предупреждают, когда параметры полевой электроники выходят за рамки, заданные пользователем. Затем система контроля качества пересылает назад ключевые атрибуты для выборочных трасс, чтобы убедиться, что приемная расстановка функционирует так, как было запланировано. Благодаря исключению необходимости передачи всех данных в режиме практически

реального времени, требования к питанию и полосе радиочастот значительно снижаются.

Каждый полевой модуль функционирует автономно, благодаря чему пункты приема остаются нетронутыми в период времени от их установки до очередного переноса при обработке съемки. Полевые модули также снабжены системой спутниковой привязки (GPS) для определения координат с высокой точностью и снижения расходов на топогеодезические работы.

Наконец, эта наземная регистрирующая система следующего поколения будет использовать новейшее программное обеспечение в области управления и передачи команд.

Мечта становится явью – компания I/O запускает проект «FireFly»

Компания I/O начала работу над детальным проектом системы «FireFly» в начале 2004 г. и к настоящему времени выполнила успешные полевые испытания ключевых элементов системы. К разработке новой системы компания I/O привлекла лучших специалистов из ведущих сейсморазведочных и нефтегазовых компаний. В результате создается не имеющая аналогов технология, сочетающая опробованную беспроводную передачу и хранение сейсмических данных в полевых модулях, архитектура которой позволяет выполнять экономичные сверхмногоканальные съемки.

Система «FireFly», включающая технологии компании I/O и ее подразделений - GX Technology и Concept System, - имеет ряд уникальных составляющих для высокопроизводительной регистрации широкополосных многоволновых данных. Эти составляющие включают:

- совместимость с VectorSeis® – одиночными трехкомпонентными цифровыми микроэлектронными акселерометрами, такими же как в регистрирующей системе "System Four";
- хранение данных – автономные полевые модули, которые сохраняют десятки тысяч трехкомпонентных

записей в энергонезависимой памяти;

- беспроводная телеметрия – исключаются соединительные кабели между пунктами приема;
- автономное питание – индивидуальные перезаряжаемые аккумуляторы на каждом пункте приема;
- интеллектуальный контроль качества – независимая связь с центральной электроникой с задаваемыми пользователем параметрами и порогами контроля качества;
- встроенная спутниковая система позиционирования (GPS) – для определения точных координат пунктов наблюдения;
- программное обеспечение компании Concept Systems – интегрированный набор приложений, обеспечивающих быструю установку пунктов приема, безопасное выполнение всех полевых процедур и подготовку данных к обработке.

Бескабельная система компании I/O разрабатывается специально для того, чтобы предоставить максимум преимуществ как нефтегазовым, так и сейсморазведочным компаниям. Некоторые из ключевых преимуществ включают:

- Меньший вес системы. Система "FireFly" спроектирована так, чтобы исключить кабели, стоимость которых составляет до 20% стоимости полевых работ при "типичной" наземной съемке.
- Повышенная технологичность. Благодаря исключению кабелей, система "FireFly" позволит сократить полевой персонал и материально-техническое обеспечение по сравнению с обычными сейсморазведочными работами.
- Упрощение вопросов охраны здоровья и техники безопасности. Благодаря сокращению численности специалистов в полевых партиях и исключению тяжелых кабелей, работы с системой «FireFly» будут более безопасными. Кроме того, благодаря меньшему объему наземной электроники, новая система будет наносить значительно меньший ущерб в экологически чувствительных областях.
- Увеличение производительного времени. До 50% рабочего дня тратится на поиск неисправностей в

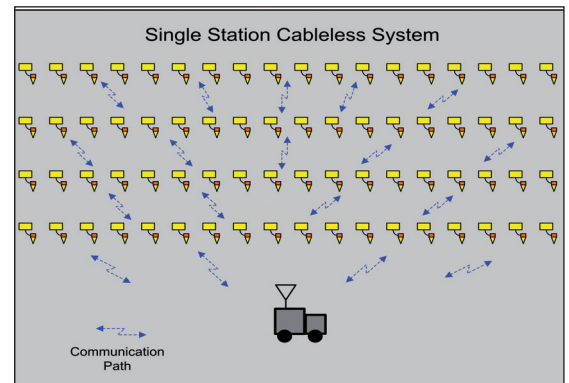


Рис.5 Пример идеальной наземной регистрирующей системы

кабелях, и регистрация данных в действительности происходит только в остальные 50% среднего рабочего дня. С обычными регистрирующими системами производительное время еще больше сокращается по мере увеличения числа каналов, поскольку увеличивается вероятность неполадок на линиях и необходимость их времяемкого и последовательного исправления. Как система с одиночными приемниками, «FireFly» свободна от этих ограничений и обеспечивает повышенную производительность, которая даже растет с увеличением канальности.

- Улучшенное освещение геологической среды. Система «FireFly» не накладывает никаких ограничений на проектируемую съемку, что приближает нашу отрасль на один шаг ближе к решению задачи полного освещения геологического разреза.

В 2006 году будут завершены опытно-конструкторские работы и тестирование в поле. В начале 2007 года система «FireFly» будет готова к полноценным полевым работам. Тем временем, нефтегазовые компании и сейсмические подрядчики могут лучше представить себе, какой будет новая эра сейсморазведки, работая с сейсμοстанцией "System Four" – кабельной наземной регистрирующей системой компании I/O, которая поддерживает до 10000 активных пунктов приема, представленных одиночными цифровыми трехкомпонентными датчиками «VectorSeis». ■

Джим Холлис – вице-президент департамента новых проектов (FireFly), Джерри Айсели – директор департамента регистрирующих систем (FireFly), Марти Уильямс – директор по решениям для системы FireFly, и Скотт Хоенманс – менеджер по наземной сейсморазведке