Один рабочий день с бескабельной системой UNITE

■ Д. Мужно, Г. Маре, Sercel, Франция

Бескабельные системы состоят из автономных регистрирующих модулей – от одноканальных до трёх- или четырёхканальных. Благодаря синхронизации по глобальной навигационной спутниковой системе (ГНСС), эти модули функционируют независимо друг от друга. Соответственно, кабели для передачи команд и данных не требуются и это значительно упрощает полевые работы, особенно на труднодоступных и экологически чувствительных площадях. Некоторые из бескабельных систем являются «слепыми» и результаты контроля качества и сбора данных становятся известными только после доставки модулей в полевой лагерь – иногда спустя одну или две недели. Поскольку надёжность бескабельных систем высока, доля собранных данных (до 99.5%) обычно близка к показателям, достигаемым с кабельными регистрирующими системами. Тем не менее, большинство заказчиков не разрешают отрабатывать съёмки «вслепую», без контроля источников колебаний, пунктов приёма и самих сейсмических данных. По этой причине на рынке предлагаются бескабельные системы, позволяющие передавать в (почти) реальном времени результаты контроля качества и/или сейсмические данные.

Бескабельная система UNITE компании Sercel – это зрелая бескабельная система, представленная на рынке с 2006 года. На сегодняшний день во всём мире продано более 175000 каналов системы UNITE, более чем 40 компаниям, и многие из них опубликовали примеры выполненных съёмок, доказывающие надёжность и эффективность данной бескабельной системы [2, 3, 4]. Новейшая модификация системы UNITE – это полевой одноканальный или трёхканальный модуль RAUeX, для которого не требуется внешний аккумулятор. В настоящее время такие модули используются, в основном, в Северной и Южной Америке, где бескабельные регистрирующие системы стали стандартными в последние годы. Доля бескабельных систем также растёт в Европе и, мы надеемся, будет расти в России и СНГ. Именно поэтому мы решили написать данную статью, в которой описывается, как функционирует система UNITE. Мы не преследовали цель заменить данной статьёй руководство пользователя, а скорее показать простоту использования системы. Несколько российских компаний, таких как Башнефтегеофизика, ТНГ Групп, Интегра Геофизика и Геосейс либо провели опытные работы с системой UNITE, либо приобрели её [1].

Бескабельная система UNITE:

UNITE – это бескабельная система, разработанная компанией Sercel и обес-

▲ *Рис. 1. Перед производственными работами в лагере партии выполняется настройка модулей RAU по Wi-Fi. В каждом модуле RAU есть чип GPS для синхронизации, встроенный аккумулятор и энергонезависимая память, позволяющие непрерывно регистрировать сейсмические данные.*

печивающая меры контроля качества, подобные тем, которые имеются в стандартной регистрирующей кабельной системе 428XL, с которой совместима бескабельная система UNITE. И центральная электроника, и электроника полевых модулей в двух упомянутых системах однотипны, также как и интерфейс оператора. Особенность системы UNITE – это её универсальность. Полевые модули системы UNITE, если это диктуется поверхностными условиями [2, 5], можно сочетать в одной расстановке с кабельным оборудованием (428XL) и получить единый массив данных в формате SegD.

В большинстве случаев система UNITE применяется как самостоятельная. Она может быть реализована как совершенно «слепая», если не использовать преимущества встроенной функции Wi-Fi или какой-либо системы с возможностью передачи информации. Вообще говоря, система UNITE может передавать часть каналов в реальном времени (вблизи антенны Wi-Fi, установленной на сейсмостанции), а другую часть каналов можно считывать в конце рабочего дня с помощью передвижной антенны Wi-Fi. Этот дистанционный сбор данных осуществляется прямо в процессе производственных работ (модули RAU продолжают непрерывно записывать данные) и это является одним из главных преимуществ по отношению к другим бескабельным системам.

Каждый из автономных модулей RAU (рис.1) имеет корпус белого цвета (полиамид, усиленный стекловолокном) и весит 1.6 кг. В верхней части модуля размещается электроника (сигма-дельта преобразователь) для обработки сигнала и она такая же, как в одноканальном модуле FDU кабельной системы 428XL. Электроника модуля RAU выполняет все процедуры контроля качества, которые предусмотрены в нашей кабельной системе. Кроме того, для бескабельного сбора данных добавлены новые элементы. Это, прежде всего, синхронизация по GPS с помощью чипа с низким потреблением энергии. Как известно, для синхронизации не нужно столько спутников, как для местоопределения (достаточно одного спутника, если координаты модуля уже известны). Высокочувствительный чип способен поддерживать синхронизацию даже в сложных поверхностных условиях (например, в густом лесу или под снежным покровом). В случае отсутствия сигнала GPS, внутренние часы модуля RAU поддерживают высокую точность синхронизации (<20 мкс) в течение 10 минут.

Другая важная особенность модуля RAU – это связь по Wi-Fi , используемая для настройки модулей и передачи сейсмических данных и результатов контроля качества. Обе антенны – GPS (L1: 1575 МГц) и Wi-Fi (2.4 ГГц) – сгруппированы в верхней части корпуса модуля RAU, а именно внутри выпуклой части, которая обеспечивает стекание воды и исключает ослабление сигнала. Рядом с этой выпуклой частью расположены два светодиодных индикатора, цвет и периодичность мигания которых отражают состояние модуля RAU, включая приёмник(и), чип GPS, Wi-Fi и аккумулятор.

В нижней части модуля RAUeX расположен литиево-ионный аккумулятор на 140 часов записи данных, а также энергонезависимая память на 16 Гбит (480 часов записи при шаге дискретизации 2 мс). Эта память устроена как кольцевой буфер, и если она полностью заполнена, перезаписываются самые старые данные. На противоположных сторонах корпуса имеется два разъёма: разъём для подключения геофонов (KCK2);

разъём для подключения внешнего аккумулятора – обычно это стандартный 12-Вольтный аккумулятор на 18 Ампер-часов для работы в течение четырёх недель (при 12-часовом рабочем дне). Такой внешний аккумулятор можно подключать и отключать прямо в поле благодаря наличию внутреннего аккумулятора. Внешний свинцово-кислотный аккумулятор служит для зарядки внутреннего аккумулятора и/или для прямого питания модуля (что необходимо при температуре воздуха ниже -20° С). Тот же разъём включает высокоскоростной Ethernet, который может использоваться вместо Wi-Fi, если нужна более высокая скорость передачи данных (до 32 Мбит/с). Все эти функции позволяют модулю RAU непрерывно записывать синхронизированные по времени сейсмические данные и тестировать себя через определённые интервалы времени, не прерывая производственные работы и без доставки модулей в лагерь партии. Обеспечен широкий температурный диапазон: от -40° С до +60° С.

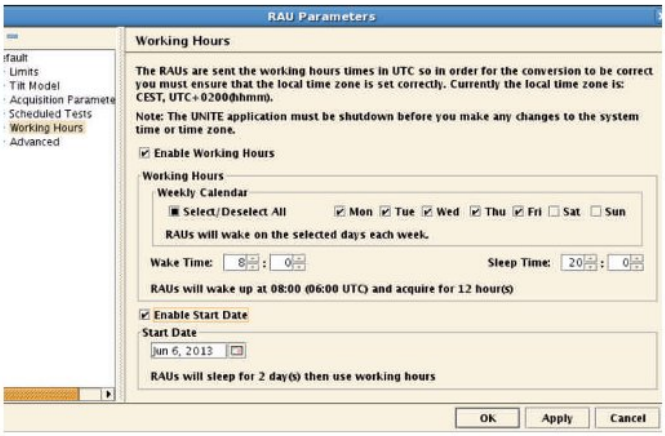
Модуль RAUeX также имеет уникальный режим, называемым “Anti-theft”. Если тот или иной модуль украден, его всё-таки можно обнаружить с помощью передвижной антенны Wi-Fi и установить его приблизительное положение по GPS, а также дистанционно скачать данные.

Помимо одноканального модуля RAUeX, выпускается трёхканальная модификация (RAUeX-3, вес 1.95 кг, 130 часов автономной регистрации) для подключения трифона (трёхкомпонентного геофона) или трёх каналов к одному полевому модулю.

В лагере партии: подготовка модулей RAU к выносу в поле

Зарядка: модули RAU поставляются с 40%-ным уровнем зарядки встроенных аккумуляторов, что оптимально для долговременного хранения, которому соответствует оранжевый цвет светодиодного индикатора. Таким образом, зарядка аккумуляторов – это первая процедура, которую нужно выполнить до выноса оборудования в поле. Для зарядки аккумуляторов в модулях RAU необходим 12-Вольтный источник, обычно расположенный в специальном помещении или прицепе (45-Амперный источник может заряжать, по крайней мере, 20 модулей RAU одновременно). Если аккумулятор полностью разряжен, для его полной зарядки (зелёный цвет светодиодного индикатора) потребуется девять часов. Зарядка модулей RAU возможна также в полевых условиях, от внешнего аккумулятора, при температуре воздуха от 0 до +40° С.

Задание параметров: рекомендуется подготовить группу из (максимум) 150 модулей RAU, разложенных в мастерской или на открытом воздухе. После этого через антенну и блок CAN, соединённые с сервером eUnite, по Wi-Fi обновляется программное обеспечение модулей и задаются параметры их работы. Сначала определяется модель наклонов с использованием сейсмоприёмников, используемых при данных полевых работах. Нужно расставить несколько групп геофонов, установленных вертикально и соединённых с модулями RAU, чтобы создать соответствующую “модель наклонов”, которая будет использоваться как эталон для всех пунктов приёма. Эту модель, как и параметры регистрации, можно затем передать во все модули RAU, включая: интервал дискретизации, усиление, тип фильтра, предельные значения датчиков (сопротивление, наклон), режим использования GPS (стационарный, пешеходный, режим экономии энергии) и рабочие часы.



◀ *Рис. 2. Задание времени работы модулей RAU с использованием календаря.*

Задание точного времени, в течение которого модули RAU работают, важно для оптимизации потребления энергии. Рабочее время рассчитывается исходя из календаря, наличия праздников и выходных дней, времени начала и окончания полевых работ каждый день (рис.2).

В поле: установка модулей RAU и дистанционный сбор данных

Привязка: эта процедура специфична для бескабельных систем. Её нужно выполнить аккуратно во избежание различных ошибок. Она состоит в привязке серийного номера каждого модуля RAU к номеру пункта приёма (номер линии / номер пункта), положение которого известно. На практике, серийный номер модуля RAU считывается портативным полевым терминалом (PFT) по радио (но возможно и оптическое считывание нанесённого на корпус штрих-кода). Результаты привязки затем выгружаются в центральную электронику для управления линиями. Процедуру нужно повторять каждый раз при переносе модулей RAU на новое место, до того как начнётся регистрация новых данных. Это единственный путь точного определения координат регистрируемых сейсмических каналов. Однако координаты, определяемые встроенным чипом GPS в каждом модуле RAU (в окне uPosition), достаточно точные для прогнозирования относительного положения модулей и для исправления ошибок, которые могли быть допущены при привязке. Рекомендуется исправлять расхождения в местоположении непосредственно в поле, до вывода окончательных файлов в формате SegD (но повторный вывод данных в формата SegD возможен после корректировки геометрии).

Регистрация: после установки модулей RAU на свои пикеты, они начинают получать информацию от спутников GPS (вскоре может быть доступна и глобальная система Glonass) и в течение минуты определяют приблизительное положение, необходимое для синхронизации. Два светодиодных индикатора (оба должны стать зелёными) отражают привязку к спутникам, а также состояние функционирования модуля RAU, включая тест приёмников. После этого начинается непрерывная регистрация данных до конца рабочего дня или до начала запланированного теста.

Сбор данных: модули RAU регистрируют непрерывный поток отсчётов, синхронизированных по ГНСС, и одна часть этих отсчётов относится к полезной сейсмической информации, а другая часть – к статусам модулей RAU (аккумулятор, GPS, Wi-Fi, наклон приёмников и их сопротивление) и к результатам запланированных тестов, подобных тем, которые

▲ *Рис. 3. Дистанционный сбор сейсмических данных и результатов контроля качества по Wi-Fi:*
- слева: гусеничный вездеход с антенной и блоком CAN;
- справа: устройство для сбора данных с тремя окнами: окно статусов (аккумулятор, диск и соединения); окно поиска неисправностей в реальном времени (GPS, аккумулятор, приёмники); окно с геодезической информацией (номер линии, номера RAU), где проблемные модули RAU показаны красным цветом.

имеются в кабельной системе 428XL (аппаратурные тесты: искажения, усиление, фаза, взаимные влияния, шум…). В начале рабочего дня, до начала отстрела, можно проконтролировать всю приёмную расстановку путём сбора результатов контроля качества, используя устройство для сбора данных (Data Harvester – планшетный компьютер в ударопрочном корпусе; рис.3). Выгрузка результатов контроля качества очень быстрая, поскольку их объём небольшой (несколько Кб). Мы рекомендуем соединять планшетный компьютер с блоком CAN и антенной, которая может собирать результаты контроля качества со всех модулей RAU в радиусе до 1000 м на открытой местности (или порядка 250 м в лесу) и которая может быть установлена на транспортном средстве или небольшом (радиоуправляемом) вертолёте, перемещающемся в пределах расстановки.

До начала сбора данных каждый планшетный компьютер (DH) нужно соединить с сервером eUnite, чтобы получить обновлённый перечень модулей RAU, с которых предстоит считать данные, и перечень отметок моментов (T0) для ещё не считанных ПВ. В ближайшем будущем эти перечни можно будет также передавать по сотовому телефону, что позволит исключить поездки назад на сейсмостанцию. Перечень отметок моментов очень важен, потому что он позволяет считывать не всю память из модулей RAU (16 Мб), а выбирать фрагменты записи, относящиеся к нужным ПВ. Планшетный компьютер может считывать данные из модулей RAU по Wi-Fi в радиусе до 100 м или непосредственно через Ethernet-кабель. При использовании Wi-Fi (скорость считывания порядка 6 Мбит/с) не рекомендуется подключаться к более чем к двум модулям RAU одновременно. После завершения считывания, данные остаются во внут-

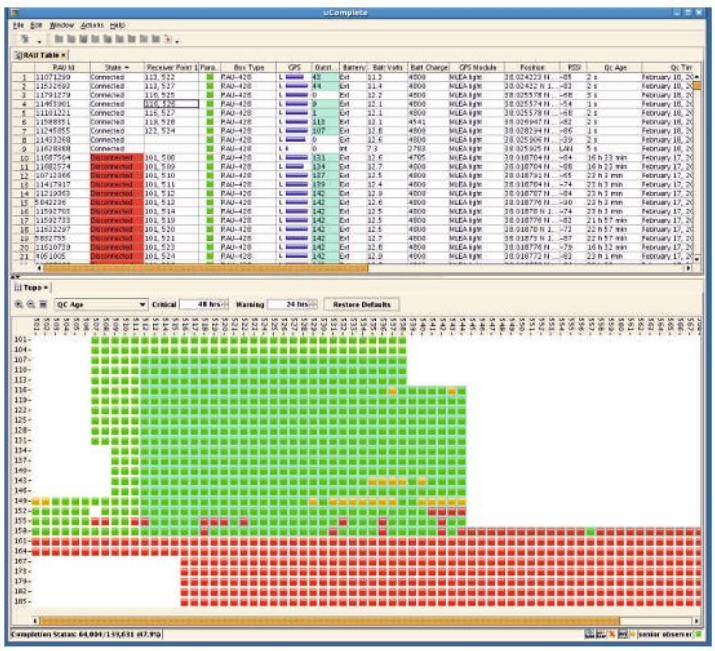


Рис. 4. Окно uComplete включает таблицу с номерами модулей RAU (RAU table, наверху) со всеми текущими параметрами. В нижнем окне Topo (номера линий по вертикали, номера модулей RAU по горизонтали) графически отражён выбранный атрибут – в данном случае это время, в течение которого не были получены результаты контроля качества:
красный цвет – более 48 часов, зелёный цвет – более 24 часов, оранжевый цвет – промежуточная величина. Голубые линии очерчивают расстановку модулей RAU, относящуюся к конкретному ПВ.

ренней циклической памяти модулей RAU, пока не будут перезаписаны (через 480 часов). После доставки планшетных компьютеров назад на сейсмостанцию, их можно соединить Ethernet-кабелем с сервером eUnite. Выгрузка данных начнётся автоматически и будет отражена на экране в соответствующем окне.

На сейсмостанции: сервер eUnite и соответствующие окна

Сервер eUnite имеет такую же архитектуру клиент-сервер, что и e428, обладающую рядом преимуществ: масштабируемость рабочей станции сервера под управлением Linux в зависимости от количества регистрируемых каналов; простое воспроизведение данных и результатов контроля качества на стандартном настольном компьютере или ноутбуке под управлением Linux или Windows; периферийные устройства, соединённые с сетью через Ethernet; возможность подключать удалённых клиентов через Интернет.

Часто eUnite соединяют через Ethernet с e428, чтобы контролировать источники колебаний, особенно в случае вибросейсмических работ. Этот клиент-сервер не только управляет электроникой вибраторов (VE464), но и генерирует файлы SegD с заголовками, включающими координаты и параметры регистрации. В случае взрывных работ, сервер e428 не обязателен: функция “SegD gen” сервера eUnite может генерировать файлы SegD с соответствующими заголовками по SPS-файлам и отметкам момента (T0). В обоих случаях, каналы RAU идентифицируются как обнулённые трассы, которые будут заполнены с помощью сервера eUnite после сбора данных.

Чтобы получать сейсмические данные и результаты контроля качества из модулей RAU в реальном времени, сервер eUnite можно соединить, через сеть Ethernet, с блоком CAN и антенной. Используя протокол Wi-Fi, антенна отправляет команды модулям RAU на передачу сейсмических отсчётов, относящихся к соответствующим отметкам момента (T0), а также их текущие параметры работы.

Имеется несколько окон, помогающих оператору программировать и проверять ход работ. Окно uComplete – это главное окно, которое используется для управления расстановкой (RAU table and Topo view; рис.4) и полевыми работами (VP table и окно Completion). Программирование модулей RAU выполняется с помощью меню в этом окне. Остальные

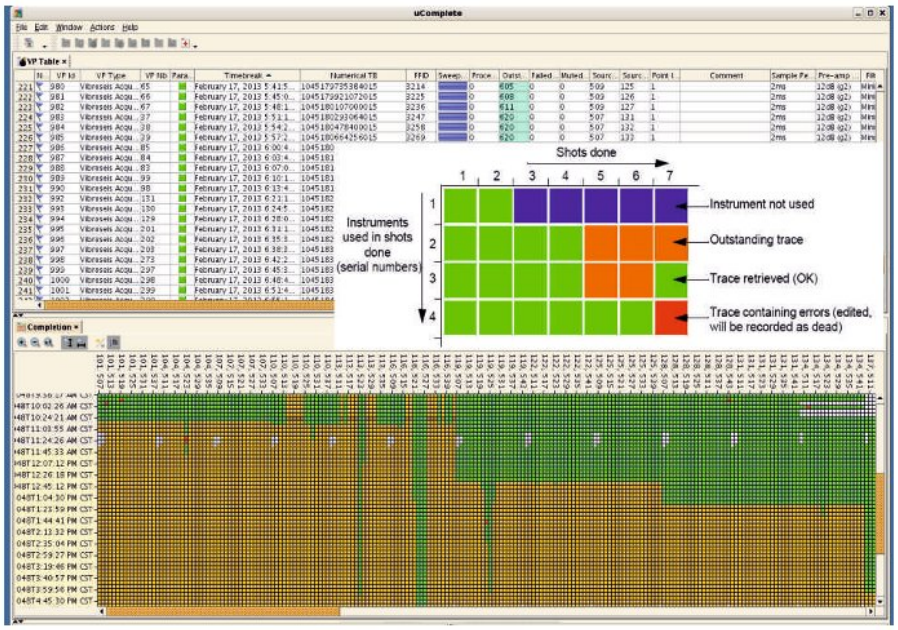


Рис. 5. Окно uComplete на сервере eUnite также включает таблицу VP table (наверху) с перечнем виброточек и окно Completion (внизу; номера ПВ по горизонтали, модули RAU по вертикали). Каждой точке на этом изображении соответствует одна трасса, статус которой обозначен цветом.

окна похожи на те, которые имеются на сервере e428:

· окно uPosition – это интерфейс географической информационной системы для высвечивания модулей RAU на подложке;

· окно uConfig для генерирования файлов SegD на любой стадии отстрела;

· окно uExport нужно для сохранения окончательных файлов SegD на дисках NAS или лентах.

Особенность программного обеспечения eUnite заключается в том, что оператор в любое время может воспроизводить трассы в окне uTrace (рис.6, слева), даже при ещё неполном сборе и загрузке данных с планшетных компьютеров. Это позволяет визуально контролировать правильность привязки модулей RAU к пунктам приёма по первым вступлениям. Когда на сервере собираются все трассы, относящиеся к тому или иному ПВ, генерируется окончательный файл в формате SegD.

В тех случаях, когда кабельные и бескабельные каналы регистрируются одновременно (режим «infill»), сервер кабельной системы e428 создаёт предварительный файл SegD для полной расстановки, и в этом файле бескабельные ПП представлены обнулёнными трассами. Затем этот предварительный файл пересылается на сервер eUnite, где он дополняется, и для каждого ПВ выводится окончательный файл SegD. Визуализация трасс в окне uTrace позволяет убедиться, что кабельные и бескабельные данные успешно объединены: трассы RAU выглядят так, как будто они записаны кабельными модулями FDU [1].

Выводы:

Тесная взаимосвязь бескабельной системы UNITE с кабельной системой 428XL (а вскоре и с 508XT) подтверждает, что кабельные и бескабельные системы можно использовать одновременно (в режиме «infill»). Поскольку электроника, процедуры обработки и контроля качества идентичны в двух системах, получаемые сейсмические данные абсолютно совместимы (рис.6, справа). Система UNITE может функционировать как слепая система, когда Wi-Fi отключён, а сами модули RAU прикопаны. В то же время, система UNITE позволяет дистанционно считывать данные, без доставки модулей на базу партии. В зависимости от требований заказчика выбирается тот или иной уровень контроля качества: от полной проверки приёмной расстановки в начале каждого рабочего дня (напри-

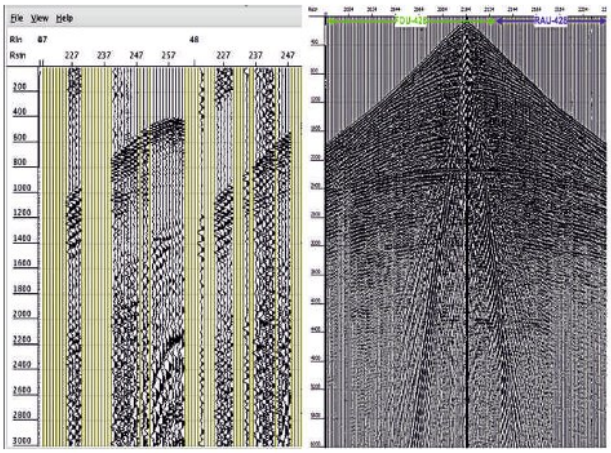


Рис. 6. Окно uTrace (слева) сервера eUnite служит для визуального контроля статуса собранных данных для заданного ПВ: прямые линии соответствуют трассам, которые ещё не считаны. Первые вступления могут использоваться для проверки правильности привязки бескабельных модулей. Показанный справа пример данных 2D получен с использованием кабельных каналов FDU-428 (зелёный цвет) и бескабельных модулей RAU (синий цвет): наблюдается полная совместимость сейсмических трасс.

мер, с использованием малогабаритных радиоуправляемых вертолётов) до считывания данных в реальном времени с модулей RAU, находящихся недалеко от сейсмостанции. Наконец, в случае взрывных работ, сейсмостанция в поле нужна всё меньше и меньше благодаря непрерывной регистрации синхронизированных по ГНСС отсчётов и последующему считыванию соответствующих сейсмических данных по отметкам момента. На сегодняшний день полученные данные сохраняются как сейсмограммы общего пункта возбуждения (ОПВ) – это единственная сортировка, возможная в формате SegD. В скором времени, когда будет доступна версия 3.0 этого формата, можно будет выводить данные в сортировке по общему пункту приёма (ОПП) – такая сортировка может быть более удобной для некоторых процедур предобработки, особенно для подавления помех.

Благодарности:

Авторы выражают благодарность А.В.Череповскому и Е.Е.Власовой (оба Sercel) за редактирование и перевод данной статьи. Авторы также благодарят Жака Амона (Sercel) и его отдел за постоянное улучшение бескабельной системы UNITE.

Литература:

1. Череповский А.В., Мужно Д., 2011. Оправдан ли переход на бескабельные системы регистрации? – «Приборы и системы разведочной геофизики», №2(36)/2011, с.16-20.

2. Lansley, M., 2012. Cabled versus cableless acquisition: making the best of both worlds in difficult operational environments. - First Break, vol.30, January 2012, p.97-102.

3. Lansley, M., Armenta, G., and Espinosa, L., 2012. Cable Free Seismic Acquisition in the South of México. - 9th international conference SPG, Hyderabad, expanded abstract, P-165.

4. McWhorter, R., Schultz, G., Clark, A., Branch, T., and Lansley, R.M., 2012. 3D Seismic Operational Optimization in the Lusitanian basin, Portugal. - First Break, vol.30, January 2012, p.103-108.

5. Mougenot, D., 2010. Land cableless systems: use and misuse. - First Break, vol.28, February 2010, p.55-58.

Подробнее об авторах

Мужно Дени

Главный геофизик компании Sercel

Гийом Маре

менеджер по поддержке пользователей компании Sercel