ISSN 2074-8906

ПРИБОРЫ и СИСТЕМЫ РАЗВЕДОЧНОЙ ГЕОФИЗИКИ

ОБЩЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЕЖЕКВАРТАЛЬНЫЙ ЖУРНАЛ

АПРЕЛЬ-ИЮНЬ

02/2014

Издается с 2002 г.

ТЕМА НОМЕРА:

Бескабельные сейсмические технологии

ТАКЖЕ В НОМЕРЕ:

- Взгляд геофизика на вибросейсмические излучатели, разработанные в ЗАО "ГЕОСВИП", в аспекте их геологической эффективности
- Понимание ледовой обстановки - залог успешной работы в Арктике

Объединяя стихии...

XZone

ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

Bottom Fish
ДЛЯ РАБОТ НА МОРЕ

Marsh Line
ДЛЯ РАБОТ В ТРАНЗИТНОЙ ЗОНЕ

Fly Lander
ДЛЯ РАБОТ НА СУШЕ

353477 Россия, Краснодарский край, г.Геленджик, ул.Ручейная,8
т.:(86141)26615, ф.:(86141)26601
office@intromarin.ru, www.intromarin.ru

КОЛОНКА РЕДАКТОРА

Ох, лето красное! Любил бы я тебя, когда б не...
Главный редактор журнала П.А.Турлов

Наши партнеры
Логотипы организаций, финансово участвующих в издании этого номера журнала

ТЕМА НОМЕРА:

Бескабельные сейсмические технологии

ПРИБОРЫ и СИСТЕМЫ

Современные бескабельные телеметрические сейсморегистрирующие системы (обзор) 6
Кузнецов И.М., Турлов П.А.

Современные технологии регистрации геофизической информации бескабельной телеметрической сейсморегистрирующей системой «SCOUT» 19
Гнатюк А.И., Тарасов В.Н., Цукерман И.Б.

“Новичок в сейсморазведке”..... 24
Denis Tomashin

Один рабочий день с бескабельной системой UNITE 29
Д. Мужно., Г. Мэри

Технология многокомпонентной донной сейсморазведки на основе модулей «Turtle-500» 37
Рослов Ю.В., Воронов М.А., Полоков В.В., Долотказин И.Н.

Бескабельные технологии сейсморазведки – универсальный инструмент при поиске месторождений углеводородов. На примере оборудования GSX компании GEOSPACE TECHNOLOGIES INC. (США) 47
Ясницкий Ю.С., Бакман П.М.

«Приборы и системы разведочной геофизики»
Общероссийский научно-технический ежеквартальный журнал. Издается с 2002 г.

Учредитель
СРО МОО ЕАГО

Издатель
ООО «ИнформГеофиз-Сервис»

Директор
Турлов П.А.

Адрес издательства
410019, г. Саратов, ул. Крайняя, д. 129
Тел. (8452) 64-14-32

Главный редактор
Турлов П.А.
paturlov@mail.ru

Выпускающий редактор
Кузнецов И.М

Координатор проекта
Матвеев С.А

Верстка
Мокроусов Д.В.

Обложка и оформление
Мокроусов Д.В.

Web сайт
psrgeo.ru

Тираж отпечатан
в типографии
ООО «Формат»
т.: (8452) 39-33-77

Тираж: 300 экз.

Подписано в печать
20.06.2014

Дата выпуска
30.06.2014

Издание зарегистрировано в Министерстве РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций за номером ПИ №77-7906 от 27.04.2001

© Турлов П.А., составление, 2014
© ООО «ИнформГеофизСервис», оформление, 2014

От редколлегии
Ответственность за подбор и изложение фактов в статьях несут авторы. Редколлегия может публиковать статьи, не разделяя точки зрения авторов

На обложке:
полевой модуль "SCOUT", разработанный ОАО "СКБ СП”

Понимание ледовой обстановки – залог успешной работы в Арктике 60
С. Камерон (S. Cameron)

Взгляд геофизика на вибросейсмические излучатели, разработанные в ЗАО «ГЕОСВИП», в аспекте их геологической эффективности 64
Кострыгин Ю.П.

Применение автономной системы Hawk® компании INOVA для исследований в Скалистых горах Канады 77
Бину Джой (Binu Joy)

НАШИ ЮБИЛЯРЫ

Юбилей Николая Петровича Алелюхина 73

БИБЛИОГРАФИЯ

Список статей, опубликованных в журнале «Приборы и системы разведочной геофизики» в 2013 г. 74

НАШИ ПАРТНЕРЫ

Ох, лето красное! Любил бы я тебя, когда б не ...

Турлов П.А., СРО МОО ЕАГО, г.Саратов

Как-то, случайно оказавшись в одной кампании с руководителем одного из крупных российских издательских домов, я посетовал на то, как трудно даются летние выпуски журнала. На что мой собеседник заметил, что этот летний кошмар преследует практически всех издателей профессиональных журналов, пользующихся услугами приглашенных авторов статей. «Для них летнее время – мертвый сезон», - резюмировал он.

Я не случайно вспомнил этот разговор. Возьмем, к примеру, настоящий июньский выпуск журнала. Казалось бы, такая интересная и актуальная тема – «Бескабельные сейсмические технологии». Однако, сказать, что российские авторы завалили редакцию своими статьями и предложениями – значит погрешить против истины. Вполне возможно, что одной из причин является тот самый пресловутый фактор летнего времени. Но, как мне кажется, более веской причиной является слабое внедрение в практику выполнения сейсморазведочных работ в России бескабельных телеметрических сейсморегистрирующих систем и, как следствие, отсутствие информации, которой можно было бы поделиться с коллегами на страницах нашего журнала. Будем надеяться, что это временное явление, и мы еще не раз и с большим успехом вернемся к этой тематике на страницах нашего журнала.

А тема действительно чрезвычайно интересная и актуальная!

Бескабельная сейсмика является очень молодой технологией с различными вариантами систем, поставляемыми несколькими производителями. Необходимость в подобных системах существовала всегда. Но лишь в настоящее время технологический взрыв, который повлиял на нашу личную и профессиональную жизнь, вызвал к жизни множество компонентов: мощные дешевые микропроцессоры с большой памятью; радиочипы с системой WI-FI, которые работают в не требующем лицензирования частотном диапазоне; литиевые батареи; сигма-дельта АЦП; роботизированный поверхностный монтаж электронных компонентов и т.д., которые конструкторы использовали в сейсморегистрирующих системах нового типа, чтобы обойтись без кабелей.

Но техническая мысль не стоит на месте! Уже сейчас появляются сведения о том, что некоторые приборостроительные компании, в том числе в России, приступили к созданию сейсморегистрирующих систем следующего поколения, в которых должны быть объединены и реализованы лучшие качества, присущие кабельным и бескабельным сейсморегистрирующим системам. По замыслу конструкторов, это должна быть система, обеспечивающая сверхмногоканальные сейсмические исследования со сбором данных как в реальном, так и в нереальном времени, чрезвычайно надежная и удобная в эксплуатации, отвечающая всем требованиям экологической и технической безопасности. В общем, «голубая мечта» геофизика-полевика.

Ну что ж, поживем – увидим. Одно могу гарантировать уже сейчас: этой теме мы посвятим зимний выпуск журнала.

А пока с наилучшими пожеланиями,

П.А.Турлов

Главный редактор

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 развертывать, 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

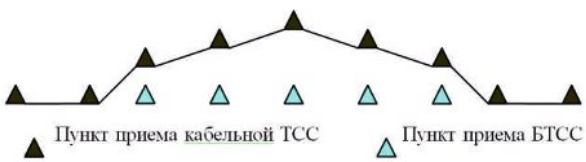
Современная практика выполнения 2D сейсморазведочных работ предусматривает следующие возможные варианты использования БТСС:

1. Использование БТСС в качестве самостоятельной сейсморегистрирующей системы при выполнении региональных и маршрутных поисковых сейсморазведочных работ;

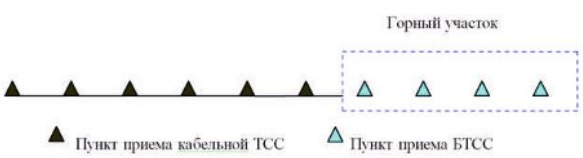
2 . Оптимизация расположения пунктов приема на профилях, пересекающих особо сложные районы с высокой урбанизацией и сложным рельефом. Например, спрямление профиля (рис.1);

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

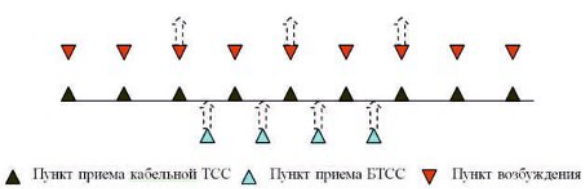
3. Сгущение пунктов приема в случае необходимости разряжения пунктов возбуждения (рис.3).



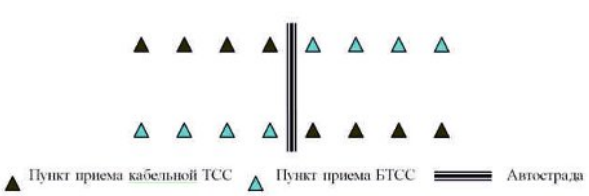
▲ *Рис. 1. Спрямление профиля*



▲ *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, автострады), 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.

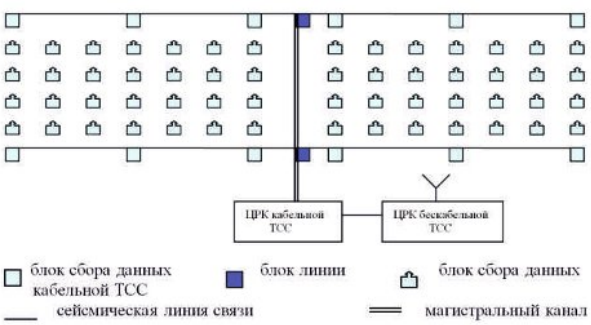
4. Выполнение сейсмического активного мониторинга месторождений, обеспечение организации непрерывной записи микросейсмического процесса (пассивный сейсмический мониторинг).

В случае применения такой смешан-

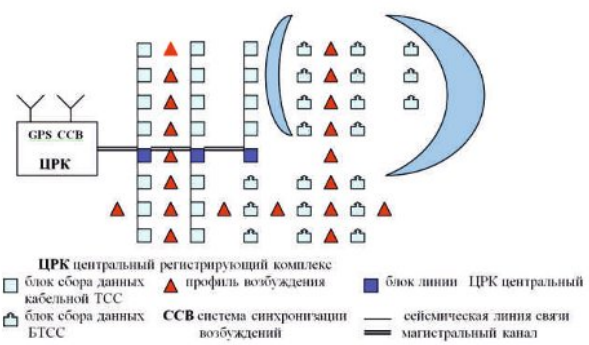
ной конфигурации, важно предусмотреть совместимость всех сегментов приемной расстановки. Важно получить однородную сейсмическую информацию (одни и те же параметры регистрации, одна и та же электроника, те же меры контроля качества) в одном выходном формате.

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

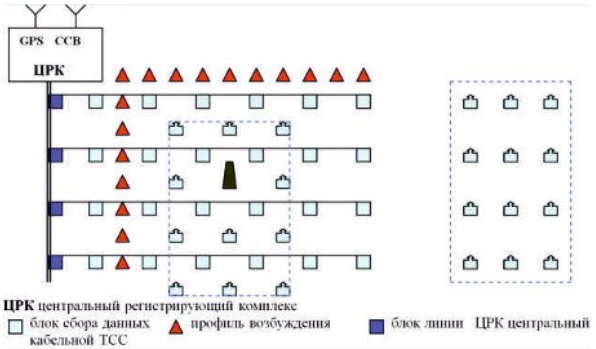
Различные варианты гибридных пространственно распределенных систем наблюдения представлены на рис. 5, 6, 7, 8.



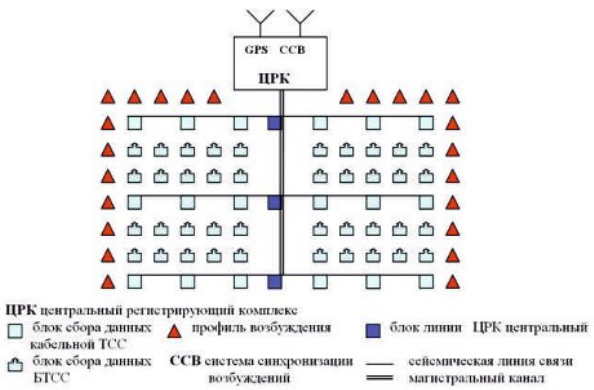
▲ *Рис. 5. Кабельные и бескабельные каналы дополняют друг друга для обеспечения мегаканальной расстановки с возможностью контроля процесса регистрации в реальном времени*



▲ *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 (БТСС 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 сейсморегистрирующих 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 скважинно-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 направлению к дневной поверхности, где и регистрируются средствами сейсморазведки.

В настоящее время для проведения пассивного сейсмического мониторинга используются в основном кабельные телеметрические сейсморегистрирующие 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 трехкомпонетных 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 P и S волнах требуются сверхмногоканальные сейсморегистрирующие 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 сейсморегистрирующие системы.

Интересно отметить, что тестовые испытания одной из первых бескабельных сейсморегистрирующих 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, аппаратурным 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. MikeYates, 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 FracturingOperations, 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** (Fairfeild 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 канальн.) 0,13Вт/канал (3 канальн.)
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. батареей Емк. 4.8 А-ч	1.8 кг без батареи	5.7 кг с внутр. батареей	2.36 кг без батареи	0.9 кг без батареи	2.0 кг с внутр. батареей	1,72 кг. без батареи	0.317 кг без батареи	1.5 кг с внутр. батареей Емк.10 А-ч
Встроенные системные тесты	Состояние батареи Состояние GPS Уровень сигнала WLAN	Шум КНИ Состояние батареи	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 батареи Состояние GPS Состояние WiFi Шум Контроль амплимтуды и фызы тестового сигналы КНИ Смещение нуля Подавление синф.сигнала Температура в блоке
Встроенные тесты геофона	Шум, Сопротивл. КНИ Подавление синф. помех Наклон* Шум* Гравитация* Усиление* КНИ* Фаза*	Сопротивл. Изоляция	Сопротивл. Собст. частота Коэффициент затухания	Сопротивл. Изоляция Шум Коэфф.преобр. Собств.частота Затухание КНИ	Сопротивл. КНИ	Нет	Сопротивл. Изоляция Шум Наводка ЛЭП Подавление синфазн. помехи КНИ Собств. частота Затухание	Сопротивл.	Шум Сопротивл. 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, предаваемая по радио	Сейсмич. информация Состояние батареи Состояние памяти (В реальном времени) Запуск регистрации	Сейсмич. информация Состояние блока Состояние батареи Состояние памяти (В реальном времени) Запуск регистрации	Сейсмич. информация Состояние блока Состояние батареи Состояние памяти (В реальном времени) Запуск Регистрации	Состояние блока Состояние памяти Состояние профиля Атрибуты качества сейсмозаписи (В реальном времени)	Нет	Нет	Состояние блока Состояние батареи Состояние памяти (В нереаль-ном времени)	Нет	Сейсмическая информация Состояние блока Состояние батареи Состояние памяти (В нереальном времени)
Технология радиосвязи	WLAN	WiFi Mesh	WiFi Mesh	Bluuetooth WiFi УКВ	Нет	Нет	Bluetooth WiFi	Нет	WiFi Ethernet
Рабочий темпер. Диапазон	- 20 - + 60ºC	- 40 - +75ºC	- 20 - + 60ºC	- 40 - +65ºC	- 40 - + 85ºC	Н/д	- 40 - + 65ºC	- 50 - + 85ºC	- 40 - + 65ºC
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*

SCOUT

Бескабельная сейсмосистема

- *32 Bit АЦП*
  T 0,25-4 мс
- *Энергонезависимая Flash память до 32 Gb*
- Ethernet
  Высокоскоростной порт Ethernet
- Wi Fi
  Встроенный Wi-Fi модуль
- GPS
  Встроенный GPS модуль
- *Встроенный датчик Холла для управления питанием*
- 2D/3D/4D
  Любые проекты

Контроль расстановки в реальном времени.
Повышенная производительность.
Низкие затраты на логистику и обслуживание.
Улучшенное качество полевого материала.
Работа в недоступных для кабельных систем местах.

Сопровождение проектов
Сервис 24/7

СПЕЦИАЛЬНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ
SKBSP.RU

РОССИЙСКОЕ ГЕОФИЗИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

Россия, 410019, г.Саратов, ул. Крайняя, 129 , тел.: (8452) 53-45-06; 570-500, факс: (8452) 27-21-01
sales@skbsp.ru | **www.skbsp.ru**

Современные технологии регистрации геофизической информации бескабельной телеметрической сейсморегистрирующей системой «SCOUT»

Гнатюк А.И., Тарасов В.Н., Цукерман И.Б.
ОАО «СКБ сейсмического приборостроения», г.Саратов

В последнее время на рынке геологоразведочного оборудования наметилась положительная тенденция по расширению сервисными компаниями работы с российскими производителями и поставщиками современного качественного оборудования. Российские разработчики предлагают не только продукт на уровне мировых образцов, а что немаловажно - предлагают высококонкурентный сервис и постпродажное обслуживание.

ОАО "СКБ СП" в данный момент ведет активную работу по продвижению и внедрению на российский рынок уникальной бескабельной сейсмосистемы «SCOUT». Наша система вызвала большую заинтересованность у крупнейших российских нефтяных компаний, а также непосредственных пользователей оборудования - сервисных компаний. Качество и надёжность работы нашей системы были подтверждены полным циклом испытаний в сложных климатических условиях с достаточным объёмом зарегистрированной геофизической информации в летний и зимний сезоны, и, как следствие этого, система получила положительные отзывы от таких структур, как ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЮ - РОСНЕДРА, Саратовской геофизической экспедиции, ОАО "Оренбургская ГЭ", ОАО «Ставропольнефтегеофизика», которые уже оценили возможности нашего оборудования.

На данный момент на рынок России и стран СНГ поставлено более 5 тыс. каналов бескабельной сейсмосистемы «SCOUT».

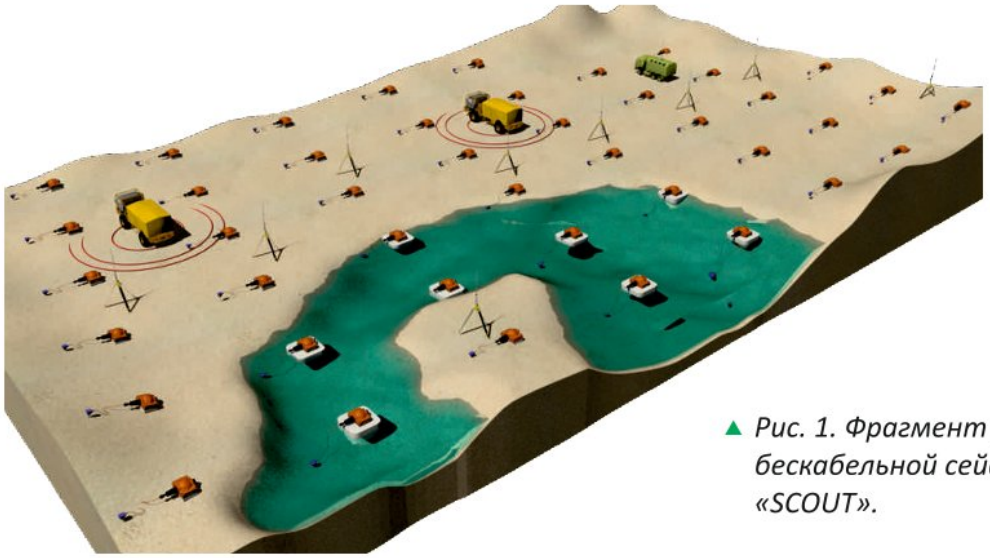
Какие именно преимущества дает для работы наша система?

Для нефтяных компаний основное преимущество заключаются в получении качественного полевого материала точно в срок, т.к. подрядчики, выполняя проект с использованием бескабельной системы «SCOUT», могут в полной мере задействовать все самые современные методики проведения геологоразведочных работ, такие как FlipFlop и Sleep-Sweep. Данные методики позволяют выполнить проект с недоступной ранее скоростью и получить более качественный материал. В программном комплексе нашей системы присутствует модуль предварительной оценки качества полевого материала, с помощью которого полевики и супервайзеры оперативно получают информацию о ходе работ и качестве зарегистрированного материала.

Тот факт, что «SCOUT» - это бескабельная система, которая не имеет ограничений по структуре расстановки, позволяет нефтяным компаниям заказывать исследования в труднодоступных и экологически чувствительных местах, тем самым, осваивая новые перспективные источники углеводородов.

Для сервисных компаний такие преимущества системы «SCOUT» как:

- надёжность и простота интерфейса управления системой;
- возможность контроля всей расстановки перед регистрацией каждого пикета;
- возможность работы с любым источником возбуждения;
- возможность оперативного восстановления аппаратуры и программного обеспечения;
- наличие системы диагностирования бортовой аппаратуры и наземного комплекса;



▲ *Рис. 1. Фрагмент расстановки бескабельной сейсмосистемы «SCOUT».*

• возможность тестирования групп сейсмоприёмников непосредственно в поле;

• наличие технических параметров системы на уровне современных мировых образцов расширяют горизонты для успешного выполнения геофизических проектов.

Вышеперечисленное - это лишь часть преимуществ, которые предлагает система «SCOUT». В современных геологоразведочных проектах идет постоянное сокращение расстояний между пунктами приёма, что повышает уровень разрешённости наблюдений, а это влечет за собой увеличение канальности регистрирующих систем на профиле. В настоящее время при одновременной регистрации геофизической информации используются тысячи сейсмических каналов - это значит, что резко возрастает объем аппаратуры, требующей постоянного контроля в процессе подготовки расстановки и во время регистрации. Из практики известно, что для кабельных систем не менее 30% времени тратится на непроизводственные нужды по размещению блоков сбора данных, аккумуляторных батарей и сейсмических кос по линиям наблюдения, снижая тем самым производительность труда сейсмопартии. С ростом канальности сейсмосистем осложняется контроль расстановки и процесс регистрации в реальном времени, что обоснованно увеличивает требования супервайзеров к объёму тестовой информации, получаемой по каждому пикету перед возбуждением сейсмического сигнала. Ужесточение этих требований обосновано тем, что в кабельных системах определяющей становится проблема надежности контактов разъемных соединений, особенно в сложных климатических и рельефных районах работ.

С точки зрения контроля качества полевого материала, полученного в реальном времени, и, соответственно, состояния аппаратуры всего геофизического комплекса, это чрезвычайно важно. Однако цена этих требований достаточно высока с точки зрения экологии и трудоёмкости и, в конечном итоге, производительности геофизических работ на профиле.

▲ *Рис. 2. Бескабельный блок регистрации сейсмоданных на пункте приема.*

Помимо обеспечения возможности работы с мегаканальными расстановками и связанными с этим преимуществами, система «SCOUT» обеспечивает ряд других, весьма существенных преимуществ, по сравнению с кабельными сейсмосистемами.

• Значительное снижение численности персонала полевой партии;

• Существенное снижение количества и веса оборудования, перемещаемого в полевой партии в процессе выполнения полевых работ;

• Повышение гибкости и скорости развертывания и свертывания оборудования на исследуемой площади;

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

• Режим непрерывной регистрации в течении длительного периода (до 30 суток), реализуемый в системе «SCOUT», идеально подходит для мониторинга нефтяных и газовых месторождений;

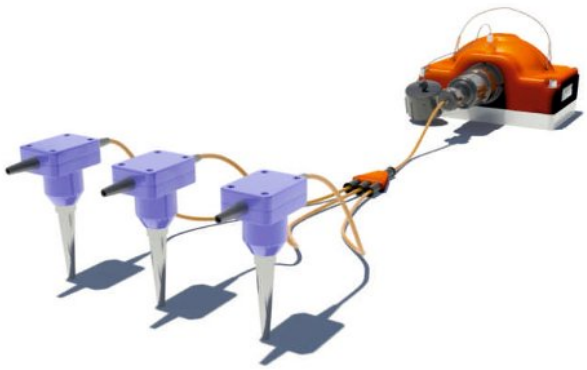
• Снижение степени воздействия на окружающую среду.

Однако бескабельная система «SCOUT» позволяет реализовывать уникальные проекты и совместно с традиционными кабельными системами в сложных географических условиях, включая непреодолимые ранее препятствия, и с максимально бережным отношением к окружающей среде, что может значительно сократить стоимость проекта.

Бескабельный блок регистрации сейсмоданных имеет герметичный корпус, на котором имеются разъемы для подключения геофона, а также разъемы для съема записанной информации и присоединения блока внешнего аккумулятора большой емкости (при необходимости использования системы в поле более 1 месяца без подзарядки).

Система «SCOUT» выполняет тестирование работоспособности сейсмического канала и геофонов. Пользователь может на свой выбор задать программу тестирования – частичную или полную. По желанию пользователя можно вывести либо все результаты тестирования, либо только данные о неполадках. Собираемые и используемые для анализа данные записываются во флэш-память блока регистрации сейсмоданных.. При проведении тестов программа автоматически управляет последовательностью выполнения тестов и параметрами генератора тест-сигналов. Все тесты проводятся с использованием текущих заданных значений частоты дискретизации и коэффициента усиления предварительного усилителя.

▲ *Рис. 3. Одноканальный бескабельный блок регистрации сейсмоданных.*

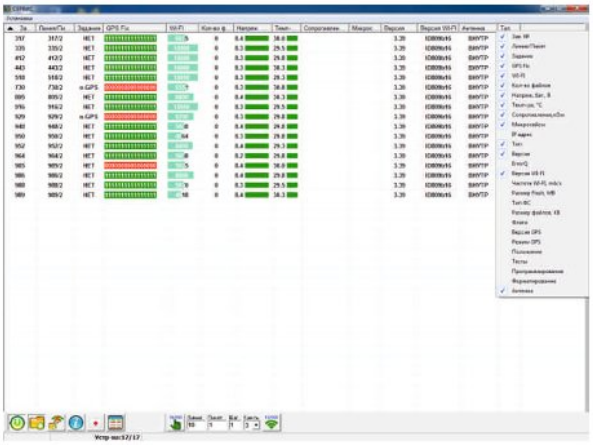


▲ *Рис. 4. Трехканальный бескабельный блок регистрации сейсмоданных.*

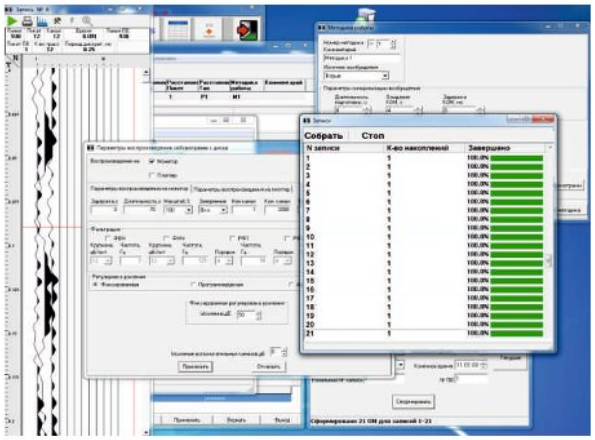
Программный комплекс состоит из двух модулей: «SCOUT-сервис» и «SCOUT-станция».

Программный модуль «SCOUT-сервис» используется для:

• Диагностирования блоков регистрации сейсмоданных и подключенных к



▲ *Рис. 5. Рабочее окно программного модуля «SCOUT-сервис» на экране планшетного компьютера.*



▲ *Рис. 5. Рабочее окно программного модуля «SCOUT-Station» на экране сервера.*

ним геофонов или сейсмогрупп;

• Взаимодействия с бескабельными блоками

• Программирования блоков перед их установкой на местности. (Устанавливаются такие параметры как период дискретизации, коэффициент предварительного усиления, режим записи, параметры тестирования и т.д.);

• Считывания информации о состоянии блоков регистрации сейсмоданных;

• Считывания сейсмических файлов.

Программный модуль «SCOUT-Station» используется для:

Описания топологии расстановки и списка ПВ вручную или импортированием из SPS - файлов;

• Получения точных значений ОМ для каждого накопления на каждом ПВ и сохранения их в базе данных;

• Построения сейсмических записей для каждого ПВ с использованием следующих данных:

- Точных значений времен ОМ, сохраненных в базе данных;
- Файлов сейсмических данных, зарегистрированных блоками регистрации;
- SPS R-файла, содержащего топологию пунктов приема.

• Взаимодействия с блоками регистрации:

• Передачи заданий на работу в блоки регистрации;

• Получения информации о состоянии блоков регистрации;

• Считывания файлов сейсмических данных, зарегистрированных блоками регистрации;

• Предварительной оценки качества полевого материала

Одно из ключевых преимуществ нашей системы – оперативное сервисное обслуживание и сопровождение проектов. Обучение специалистов в нашей компании для работы с системой «SCOUT», проведение пуско-наладочных работ и гарантийное обслуживание оборудования позволяет быть всегда на связи с нами для своевременного решения текущих вопросов. Мы всегда поможем решить даже самый сложный вопрос в короткие сроки.

БЕСШОВНАЯ СЕЙСМИЧЕСКАЯ СЪЕМКА

СУША-МОРЕ.

В любых условиях на суше, в переходных зонах, а также в море на глубине до 700 метров наши истинно бескабельные модули работают как единая система, обеспечивая быстрое, безопасное и эффективное получение высококачественных данных.

Модули ZLand и ZMarine, произведенные нашей компанией, обеспечивают бесперебойную работу даже в самых сложных условиях: в плавучих льдах, в холодных арктических районах, скалистой местности и т.д.

Оптимизируйте свои последующие сейсморазведочные работы и получайте надежные сейсмические данные.

fairfieldnodal

fairfieldnodal.com

СИСТЕМЫ СЕЙСМОРАЗВЕДКА ЛИЦЕНЗИРОВАНИЕ ОБРАБОТКА ВИЗУАЛИЗАЦИЯ

“Новичок в сейсморазведке”

Denis Tomashin, Fairfield Nodal

На рынке сейсморазведочного оборудования появился новичок. Он легко узнаваем и отличается от остальных не тем, что у него есть, а тем, чего у него нет. Этот новичок не похож на «Толстых котов, лазающих по сельской местности, создавая сумятицу и нарушая спокойствие». Новичок представляет собой гибкую, безвредную для фермеров и наиболее благоприятную с точки зрения техники безопасности и охраны окружающей среды систему, используемую в поле. Вам уже интересно, кто он?

Итак, как же можно было определить этого новичка? Что он может предложить?

В настоящее время существует новый класс систем сбора сейсмических данных. Их обычно называют нодальными или бескабельными системами и, в целом, они предлагают новый уровень гибкости и эксплуатационных преимуществ по сравнению с их предшественниками.

С самого начала сейсморазведки мы использовали большое количество кабелей для соединения всех наших датчиков с любого рода записывающими устройствами. Мы известны во всем мире использованием огромного количества кабелей. Мы перемещали их при помощи тяжелых транспортных средств или же водружали на спины наших работников. Фермеры, владельцы сельхозугодий и даже городские жители знали о том, что мы где-то неподалеку, когда видели километры и километры кабелей, пересекающих дорогу, или в своем поле, или в огороде. Кабели не только громоздкие и тяжелые, они также представляют опасность для тех, кто их расставляет, и наносят вред среде, в которой происходит их расстановка. Люди и животные запутываются в них, спотыкаются об них, что причиняет вред не только им самим, но и нарушает процесс сейсмосъемки. В таких случаях сейсмосъемка приостанавливается, осуществляется поиск неполадок и ремонт системы, после чего возобновляется. Люди, машины и животные повреждают и обрывают кабели. Иногда это происходит случайно, а иногда умышленно. Это приводит к тому, что работники партии должны снова искать и устранять неисправности. Часто, на устранение неисправности тратились не часы, а целые сутки и, как следствие, невыполнение в заданный интервал времени плана работ. Так же необходимо вырубать широкие полосы зеленых насаждений, лесов, джунглей или фермерских угодий для того, чтобы могли проехать машины, которые используются для расстановки/сбора кабелей и сопутствующего оборудования.

Это то, с чем мы должны были мириться на протяжении нескольких десятилетий. Почему? Потому что до недавнего времени не было другого экономически выгодного способа выполнять поставленные задачи. Однако, в настоящее время все изменилось. На сегодняшний день используется такое количество каналов, которое нельзя было даже представить несколько лет назад. Кто из вас помнит старые системы с 24-48 каналами? За относительно небольшое количество времени, примерно20 лет, мы увидели, как 3D системы и системы с 500-1000 каналами стали нормой. Сегодня вводятся в эксплуатацию десятки систем с тысячами каналов. Если история нас учит чему-нибудь, то наша версия

закона Мура является верной: в сейсморазведке количество каналов в партии удваивается каждые 5-7 лет. Итак, в настоящее время у нас имеются партии с 50 000-100 000 каналами в постоянной эксплуатации по всему миру. В обозримом будущем такие партии начнут работать и в России.

Дело не только в громоздкости и весе кабелей, мы так же быстро приходим к ограничению полосы пропускания. Что мы имеем ввиду? Система с 50 000 каналами, работающая с шагом дискретизации 2 мсек., будет генерировать 600 000 000 бит или 75 000 000 байт данных каждую секунду. Некоторые современные компьютеры работают с таким, а даже большим диапазоном данных. Однако, они используют специализированные дорогостоящие оптоволоконные кабели. Попробуйте использовать их в реальных условиях, где их могут жевать животные или порезать люди. Так же не забывайте про горную местность.

▲ *Рис. 1. Модуль ZLand® нового поколения.*

Что же остается делать современным сейсмическим партиям? Им на помощь приходят нодальные системы. Многие из них имеют следующие характеристики:

• Непрерывная запись данных. Они начинают записывать данные сразу же после их развертывания и продолжают записывать до тех пор, пока не будут собраны. Является ли это преимуществом?

• Нет необходимости посылать сигналы для запуска/остановки модулей. Они нуждаются только в сигнале GPS для того, чтобы обеспечивать синхронность +/- 10 мксек. их внутренних часов с другими модулями.

• Они способны работать с любым источником и с любой методикой возбуждения.

• Они могут быть использованы не только для сбора традиционных сейсмических данных, но и для сбора микросейсмических данных, а также для осуществления наблюдения перфорационных каналов и трещин.

• Они способны работать в режиме ведомого вместе с любой другой традиционной системой сбора сейсмических данных для использования в труднодоступных местах или площадях, где до настоящего времени расстановка была невозможна. Все что нужно, это установка точной отметки времени по Скоординированному всемирному времени UTC.

• Отсутствие телеметрических кабелей.

• Все нодальные системы характеризуются отсутствием телеметрических кабелей, соединяющих отдельные модули с центральным рекордером.

• Отсутствие этих кабелей исключает взаимосвязь модулей и устраняет зависимость модулей друг от друга, связанной с телеметрией данных или синхронизацией.

• По крайней мере, одна из доступных нодальных систем, система ZLand (рис.1) Компании FairfieldNodal, устраняет необходимость в любых внешних кабелях. Нет кабеля питания к внешней аккумуляторной батарее, нет кабеля к датчику, которые могут быть также повреждены. Является ли это недостатком?

• Полное отсутствие внешних проводов в истинно бескабельной системе ZLand позволяет легко закапывать модули под землю, как говорится «с глаз долой, из сердца вон».

• Того, что не видно, не украдут.

• В случае необходимости есть возможность подключить любой внешний датчик: гидрофон, болотный геофон и т.д.

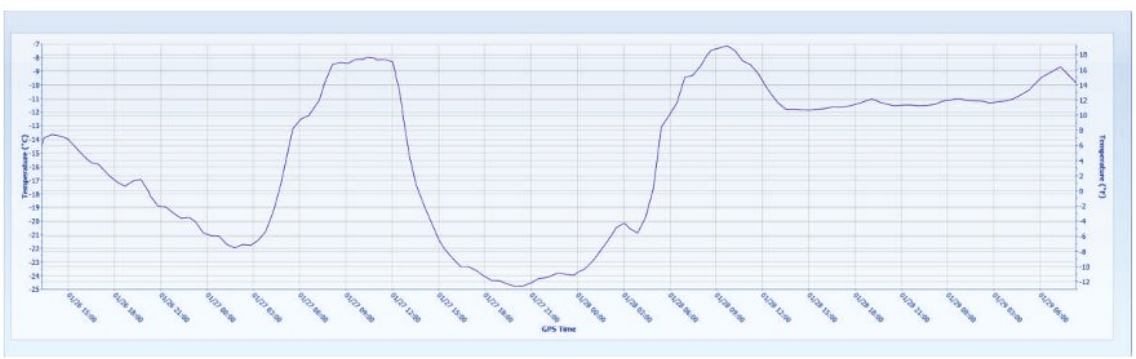
• Отсутствие внешней аккумуляторной батареи это достоинство, а не недостаток, так объем памяти модуля «синхронизирован» с его автономностью по электропотреблению и тогда, когда надо считывать данные, надо и заряжать батарею, а интегрированная система считывания и зарядки позволяет отказаться от построения на базе партии специальных зарядных помещений:

• Использование специальных литий-ионных батарей увеличила автономность до 65 суток при 12 часовой регистрации;

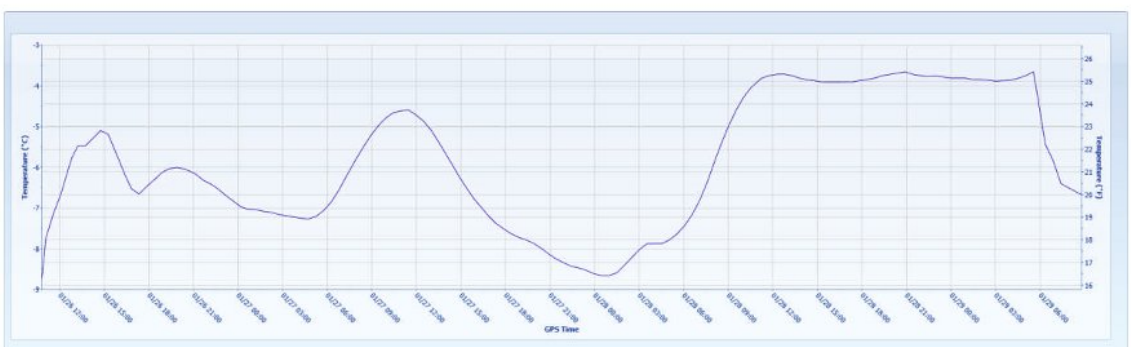
• Использование встроенной батареи позволяет полностью отслеживать ее характеристики;

• Нет необходимости иметь в партии запас дополнительных батарей;

• В условиях холодного климата модуль можно закопать в снег (рис.2 и рис.3). Это позволяет увеличить работоспособность батареи, так как снег выполняет роль термоса, а внутренние процессы в модуле еще и подогревают его и, следовательно, и батарею.



▲ *Рис. 2. Модуль установленный на поверхности снега. Минимальная температура внутри модуля -25С. Температура окружающего воздуха -32С.*



▲ *Рис. 3. Полностью закопанный в снег модуль. Минимальная температура внутри модуля -9С. Температура окружающего воздуха -32С.*

Скептики говорят – “не будет литий-ионная батарея работать в условиях холодной зимы в России”, но графики выше доказывают обратное – температура модуля с внутренней батареей, погруженного частично или полностью в снег, компенсирует температурные потери.

• Проще говоря, чем меньше кабелей, тем:

• Меньше простоев и больше производительность.

• Требуется меньше людей и оборудования.

• Меньше веса и громоздкости, что позволяет использовать топливосберегающее оборудование.

• Меньше воздействия на окружающую среду.

• Проще получение разрешений.

• Снижение рисков для персонала и окружающей среды.

Меньше просек, вырубаемых для профилей, или их полное отсутствие.

И наконец, нодальные системы не такие уж новые. Они используются в море с 2004 года и с 2006 года на суше. Мы не можем назвать точное количество модулей, находящихся в эксплуатации во всем мире. Но мы можем сказать, что на текущий момент 200 000 модулей эксплуатируются по новым заказам. Из многочисленных технических документов установлено, что морские нодальные системы обеспечивают данные, превосходящие по качеству данные, получаемые морской сейсмической косой. Согласно техническим документам и статьям среди наземных нодальных систем также есть чемпионы. Наземные нодальные системы успешно применяются в различных климатических и природных условиях на планете Земля, в фермерских угодьях, густых джунглях, горах, пустынях, густонаселенных городских местностях и арктических регионах.

Выводы:

Очевидно, что применение нодальных систем упрощает технологию работ, позволяя получить данные высокого качества. Успешные примеры использования этих систем в России и мире показывают эффективность данной технологии при проведении как 2D, так и 3D сейсморазведочных работ.

Использование 3-х или 4-х (море) компонентной регистрации открывают новые перспективы исследования месторождений, как на продольных, так и на поперечных (обменных) волнах.

Большой срок автономной работы оборудования дает возможность проводить сейсмический мониторинг, как процессов бурения, так и месторождений целиком.

Литература

1. Jim Blatman, С глаз долой, из сердца вон! Опыт применения бескабельной системы ZLand в сложных условиях. ПРИБОРЫ и СИСТЕМЫ РАЗВЕДОЧНОЙ ГЕОФИЗИКИ № 03(41)/2012 Общероссийский научно-технический ежеквартальный журнал.

2. DennisFreed, “New kid on the block”,

3. Крассимир Ников. Истинно бескабельная система. Демонстрационные испытания геофизического сейсмокомплекса ZLand на нефтяном месторождении в России // Приборы и системы разведочной геофизики № 01(39)/2012 Общероссийский научно-технический ежеквартальный журнал.

4. Томашин Д.В., Горбачев С.В. Прогрессивные технологии получения сейсморазведочных данных в сложных условиях на море и суше с применением бескабельных модульных систем //Третья международная научно–практическая конференция «Калининград-2013».Россия, Калининград, 27-31 мая 2013 года.

НОВИНКА

Nomad 65 *Neo*

К ШИРОКОЙ ПОЛОСЕ ЧАСТОТ!

Sercel представляет сейсмовибратор нового поколения - **Nomad 65 *Neo***. Новая конструкция виброисточника, созданная на основе новейших инновационных технологий, позволяет достичь превосходных показателей и снизить операционные расходы. В дополнение, благодаря новой разработке - Системе Управления Питанием IPM, появилась возможность снизить расход топлива на 15%.

Сделай шаг в будущее к широкой полосе частот!

// УЛУЧШЕНО ОПРЕДЕЛЕНИЕ ПАРАМЕТРОВ РЕЗЕРВУАРА

Улучшены показатели на низких частотах : полная мощность от 5,4 Гц

// МЕНЬШЕ УЩЕРБ ДЛЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ

Расход топлива снижен на 15%

// УЛУЧШЕНЫ ЭРГОНОМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ

Ниже уровень шума

Максимальное удобство для пользователя

iPM
Intelligent Power Management

Nantes, France
sales.nantes@sercel.com

Houston, USA
sales.houston@sercel.com

www.sercel.com

ANYWHERE. ANYTIME. EVERYTIME.

Sercel
Ahead of the Curve℠

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.

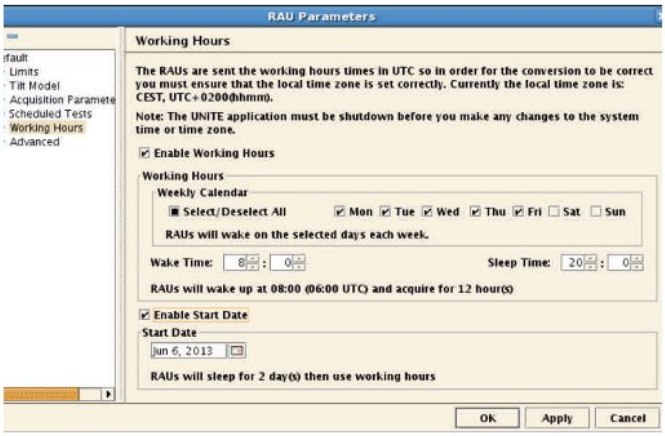


Рис. 2. Задание времени работы модулей RAU с использованием календаря.

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-

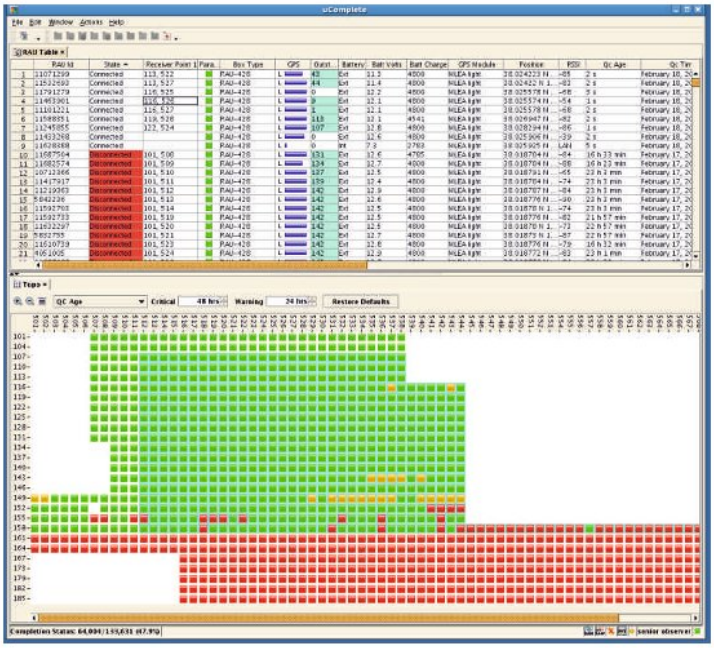


Рис. 4. Окно uComplete включает таблицу с номерами модулей RAU (RAU table, наверху) со всеми текущими параметрами. В нижнем окне Topo (номера линий по вертикали, номера модулей RAU по горизонтали) графически отражён выбранный атрибут – в данном случае это время, в течение которого не были получены результаты 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

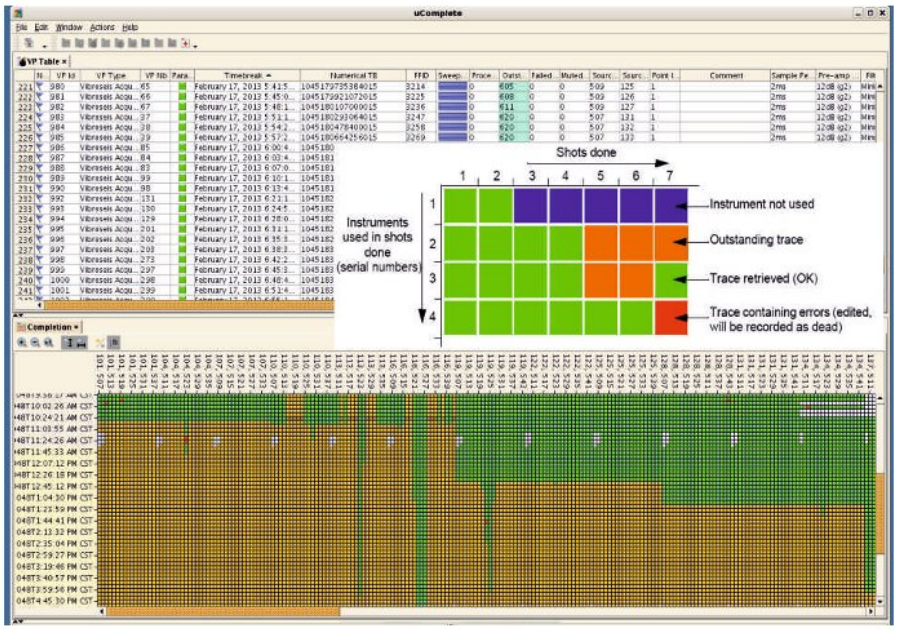


Рис. 5. Окно uComplete на сервере eUnite также включает таблицу VP table (наверху) с перечнем виброточек и окно Completion (внизу; номера ПВ по горизонтали, модули RAU по вертикали). Каждой точке на этом изображении соответствует одна трасса, статус которой обозначен цветом.

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-

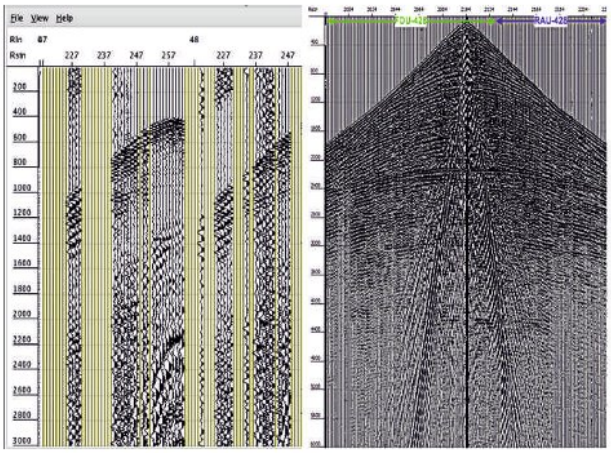


Рис. 6. Окно uTrace (слева) сервера eUnite служит для визуального контроля статуса собранных данных для заданного ПВ: прямые линии соответствуют трассам, которые ещё не считаны. Первые вступления могут использоваться для проверки правильности привязки бескабельных модулей. Показанный справа пример данных 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

Технология многокомпонентной донной сейсморазведки на основе модулей «Turtle-500»

Рослов Ю.В., Воронов М.А., Половков В.В. Долотказин И.Н.,
ООО «Сейсмо-Шельф», Санкт-Петербург

В статье рассмотрены технические аспекты создания аппаратуры для реализации технологии многокомпонентной донной сейсморазведки на основе автономных донных модулей. Представлено описание аппаратурного комплекса для донной сейсморазведки, реализованной российской компанией ООО «Сейсмо-Шельф» и показаны результаты его апробации в ходе выполнения полевых работ 2D/4C-3C.

Бурное развитие современных технологий выполнения морских сейсморазведочных работ в настоящее время определяется необходимостью повышения эффективности поискового бурения с учетом выхода направлений исследований на все более сложнопостроенные геологические структуры. Эффективность поискового бурения, в первую очередь, основывается на качестве полевого сейсмического материала, являющегося необходимым условием построения достоверных геологических моделей.

Стандартная морская сейсморазведка 3D в односудовом варианте с плавающими косами практически достигла своего технического предела. Компания PGS, например, анонсирует суда класса Titan, которые способны одновременно буксировать 24 двенадцати километровые косы, оснащенные дуальными (гидрофон+геофон) приемниками. Возможно, в будущем можно будет реализовать вариант с 30 пятнадцати километровыми косами, но принципиального технического прорыва в данном направлении не предвидится. Это объясняется двумя принципиальными причинами. Во-первых, регистрация сейсмических сигналов на поверхности моря не позволяет обеспечить многокомпонентную съемку, а во-вторых, система наблюдений с выделенным направлением оси приема вдоль линии кос не обеспечивает равноазимутального покрытия исследуемой площади. Также существуют технико-технологические ограничения буксирования кос на мелководье, вблизи берегов, платформ и т.п. Если проблему полноазимутального покрытия технология буксируемых кос еще способна решить благодаря использованию нескольких судов-источников, проходу исследуемой площади под разными углами (технологии WAZ, FAZ), движению судов по криволинейным траекториям (технология coil), что, в свою очередь, приводит к резкому удорожанию производства полевых работ, то реализация многокомпонентной сейсморазведки принципиально невозможна.

Универсальное решение выше обозначенных проблем предоставляет технология донной сейсморазведки, которая предполагает размещение системы регистрации сейсмических сигналов на морском дне. В отличие от способа проведения работ с плавающими косами использование донных систем обеспечивает ряд преимуществ:

1. Позволяет обеспечить получение многокомпонентного сейсмического материала.

Расположение сейсмических датчиков на морском дне обеспечивает полноценную четырехкомпонентную регистрацию полного волнового поля, включая и поперечные волны, что в свою очередь, дает возможность рассчитать скорости

распространения поперечных волн, выявить эффекты анизотропии, получить широкий набор дополнительных динамических атрибутов, оценить фациальный состав вещества и т.д., то есть построить более достоверную геолого-геофизическую модель среды и снизить последующие геологические риски. Расположение регистрирующей аппаратуры на морском дне также улучшает качество приема сейсмической информации, свободного от влияний волнения моря, колебаний косы и так далее.

2. Позволяет реализовать на практике гораздо больше вариантов систем наблюдений.

Донная сейсморазведка позволяет реализовывать практически любые полноазимутальные системы наблюдений.

3. Обеспечивает возможность выполнения работ с использованием бесшовной технологии «суша-море».

Прослеживание возможного продолжения сухопутных месторождений на акваторию и наоборот, предполагает использование технологий сейсморазведки, позволяющих получить однородный сейсмический материал на суше и на море, что в полной мере отвечает возможностям донной сейсморазведки.

4. Лучше соответствует требованиям безопасности судовождения.

Немаловажным фактором, говорящим в пользу донной сейсморазведки, являются также ограничения, налагаемые требованиями безопасности судовождения с использованием плавающих «сейсмических кос» в районах с наличием естественных и искусственных препятствий (узких проливов, отмелей, буровых платформ), интенсивным судоходством и рыболовством и т.п.

По этим причинам западные производители сейсмического оборудования и сервисные компании уделяют огромное внимание производству оборудования, методике проведения полевых работ и обработке данных донной сейсморазведки. Появились компании, фокусирующиеся исключительно на этих направлениях, например, «FairFieldNodal», «SBGS» (SeaBedGeophysicalSolutions), «MagSeis» и другие.

Донная сейсморазведка может быть реализована с использованием двух видов приемо-регистрирующих систем – донных приемных кос и регистрирующих станций на судне и автономных донных станций, совмещающих в себе функции приема и регистрации. Если сравнить функциональные возможности обеих

№ п/п	Технологические аспекты	Станции	Косы
1.1.	Возможность реализации любых систем наблюдений	+	-
1.2.	Работа в условия подводной инфраструктуры	+	-
1.3.	Естественные препятствия на дне	+	-
1.4.	Контакт с грунтом	+	-
1.5.	Позиционирование приемников на дне при сбросе	+	-
1.6.	Позиционирование приемников на дне с течением времени	+	-
1.7.	Скорость выполнения работ	+	-
1.8.	Устойчивость к износу; поломкам	+	-
1.9.	Контроль качества в режиме реального времени	-	+
	Сейсмические аспекты		
2.1.	Максимальные удаления	+	-
2.2.	Неограниченная длина записи	+	-

Табл. 1. Сопоставление функциональных возможностей донных станций и донных кос

систем (таблица 1), то использование автономных донных станций выглядит предпочтительнее по всем пунктам, кроме одного – контроля качества сейсмического материала в режиме реального времени.

Критическими проблемами технологии донной (бескабельной) сейсморазведки являются следующие позиции:

1. Отсутствие контроля качества сейсмического материала в режиме реального времени.

2. Оптимальность компоновки донного модуля, его массогабаритные параметры, автономность.

3. Необходимость обеспечения единой временной шкалы для отметки моментов возбуждения сейсмического сигнала системой пневмоисточников и его регистрации донным оборудованием.

4. Неопределенность положения и ориентации донного модуля на морском дне.

5. Оперативность подготовки донных модулей к постановке: инициализация, тестирование, скачивание информации, контроль качества данных, зарядка аккумуляторов и т.д.

6. Производительность выполнения полевых работ по технологии донной сейсморазведки.

За рамками обзора остаются вопросы обработки многокомпонентных сейсмических данных, так как эта проблема присуща более широкому классу систем наблюдений, чем только донные сейсмические модули.

Мелководный сейсмический комплекс «Turtle-500» на основе автономных донных

4-х компонентных модулей сбора сейсмических данных.

В России одной из немногих компаний, развивающих технологию проведения работ по методике донной сейсморазведки с многокомпонентными станциями, является ООО «Сейсмо-Шельф», образованное Российской венчурной компанией в рамках государственной программы разработки и поддержки отечественных инновационных технологий[1]. Основной разработкой ООО «Сейсмо-Шельф» является мелководный сейсмический комплекс «Turtle-500» на основе автономных донных 4-х компонентных модулей сбора сейсмических данных.

Основой сейсмического комплекса «Turtle-500» является автономное устройство сбора сейсмических данных, т.н. донный модуль, изображенный на рис.1. Модуль предназначен для записи 4С-сейсмических данных на глубинах моря до 500м, при проведении различных сейсморазведочных работ (МПВ и МОВ) с донной регистрацией на акваториях всех типов (моря, реки, внутренние водоемы, болота), на прилегающей суше, а также для сейсмического мониторинга. Основные технические характеристики донных модулей сейсмического комплекса «Turtle-500» и их сравнение с зарубежными станциями приведены в таблице 2, 3, соответственно.

▲ *Рис. 1. Внешний вид снаряженного донного модуля «Turtle-500»*

▼ *Табл. 2. Основные технические характеристики донных модулей сейсмического комплекса «Turtle-500»*

количество сейсмических каналов	4 (X,Y,Z,H)
в том числе: - с геофонами (GS20-DX, OYO Geospace) - с гидрофоном (Б2-М, ОАО «Элла», Зеленоград)	 3 1
глубина погружения, до, м	500
способ подъема со дна	при помощи фала
система привязки ДМ к ПП на профиле	ручная
регистрируемые углы ориентации ортогональной тройки геофонов	крен, дифферент, азимут
диапазон частот с геофонами, Гц	10 – 250
диапазон частот с гидрофоном, Гц	0 – 200
чувствительность, В/м/с	25
шаг дискретизации данных, мс	4; 2; 1; 0,5; 0,25
разрядность АЦП (преобразование типа Δ-σ)	24
эффективный уровень шумов (в зависимости от коэффициента усиления), мкВ	0,15 – 1,50
полный динамический диапазон, дБ	140
относительный уход часов регистратора, не более	$1*10^{-8}$
емкость накопителя данных (флеш-карта), Гб	8 (встроенная)
источник питания, напряжение питания, В	аккумуляторы, 9 – 16
автономность работы по питанию и памяти (в зависимости от режима работы), сутки	12 - 30
размеры диаметр/высота, м.	0,247/ 0,122
вес в воздухе, кг	16
удельное давление на грунт (каплинг) г/кв.см.	23

▼ *Табл. 3. Сравнение основных характеристик комплексов на основе донных станций для работ на шельфе и в транзитной зоне ведущих мировых производителей и Российского комплекса «Turtle - 500» компании «Сейсмо-Шельф».*

Производитель Донный модуль	«Fairfield Nodal» США Z700	«GeospaceTechnologies» США Ocean Bottom Recorder	«Сейсмо-Шельф» Россия Turtle - 500
Рабочая глубина,м	700	300	500
Габариты, м	Диаметр 0,432 Высота 0,152	Длина 0,521 Ширина 0,208 Высота 0,108	Диаметр 0,247 Высота 0,122
Диапазон рабочих температур, °С	-10 ÷ +60	-5 ÷ +50	-10 ÷ +50
Вес на воздухе, кг	29,5	11,3	16
Вес в воде, кг	18,1	4,4	9
Количество каналов записи	4	4	4
Время автономной работы по питанию, суток	45	30	15
Время переподготовки к работе (считывание данных, зарядка)	8	12 часов	12 часов
Динамический диапазон	120	120	120
Наличие компаса	Да	Нет	Да
Объем памяти, Гб	8-32	16	8
Период дискретизации, мс	2, 4	0,25 0,5 1 2 4	0,25 0,5 1 2 4
Максимальный относительный уход внутренних часов, с/с	$\pm3*10^{-9}$	Нет данных	$\pm5*10^{-9}$

Набортная часть комплекса для обслуживания, перевозки и хранения донных модулей выполнена на базе стандартного морского 20-ти футового контейнера (рис.2), вмещающего до 250 модулей и рабочие места операторов.

▲ *Рис. 2. Мобильный сейсмический комплекс с донными модулями «Turtle-500»*

Как решаются критические проблемы технологии донной (бескабельной) сейсморазведки в рамках сейсмического комплекса «Turtle-500»?

Отсутствие контроля качества сейсмического материала в режиме реального времени.

Отсутствие возможности контроля качества в реальном времени является сильным аргументов противников бескабельной сейсморазведки, так как исторически полевые геофизики привыкли иметь оперативный контроль качества получаемых материалов, на основании которого можно принимать управленческие решения. С другой стороны, современная технология развития модульных систем такова, что большинство производителей гарантирует, что как минимум 99% всего зарегистрированного сейсмического материала будет соответствовать производственным требованиям. Выполненные полевые работы с сейсмическим комплексом «Turtle-500» показали, что его технические показатели соответствует мировым стандартам - было зарегистрировано только 17 отказов оборудования на 2005 постановок. Данные показатели были достигнуты благодаря качеству и надежности измерительно-регистрирующего тракта, сборки и настройки аппаратуры, а также возможностью контроля ее параметров перед началом и в процессе работ.

Оптимальность компоновки донного модуля, его массогабаритные параметры, автономность.

Размер, форма, масса, автономность и компоновка донного модуля являются критическими параметрами для повышения производительности работ и получения высококачественного материала. Конструкция донного модуля должна обеспечивать хороший контакт с грунтом, технологичность выполнения полевых работ, минимизировать внешние и внутренние шумы. Основными характерными признаками донного модуля «Turtle-500» являются следующие:

· Корпус модуля выполнен из нержавеющей немагнитной стали, специальная пластиковая защита обеспечивает ударопрочность.

· Форма корпуса (осесимметричность) и его габариты обеспечивают надежный контакт модуля с дном, низкий уровень шума и минимизацию рисков сноса при наличии течений.

· Развесовка корпуса обеспечивает постановку донного модуля строго в едином положении верх-низ.

· Малые габариты и вес позволяют применять ручной способ постановки и подъема донных модулей и использовать в работах малые плавсредства.

· Наличие светового индикатора на корпусе модуля позволяет проводить проверку его работоспособности и

состояние непосредственно в процессе работ - перед сбросом в воду и после его подъема.

Полный перечень технических параметров можно найти в таблице 2.

Необходимость обеспечения единой временной шкалы для отметки моментов возбуждения сейсмического сигнала системой пневмоисточников и его регистрации донным оборудованием.

Поскольку донная станция является автономно работающим устройством, то отсутствует возможность синхронизировать записанную информацию с сейсмическими возбуждениями в режиме реального времени, что определяет необходимость хранения информации о времени в регистрирующей части донной станции с высокой точностью.

Донный модуль оснащен термостатированным генератором MX037/14-X59S3T-8,192 с относительным уходом времени в пределах $\pm 1*10^{-8}$ секунд/ /сутки. Синхронизация внутренних часов донных модулей перед началом цикла работ осуществляется по сигналу спутника GPS либо ГЛОНАС на центральном сервере в технологическом контейнере посредством подключения всех модулей через специальный разъем. После окончания циклов записи производится сверка часов в том же технологическом контейнере. Формируется база файлов временных поправок, которая автоматически учитывается в процессе предварительной обработки сейсмической информации путем линейного распределения временных уходов на период записи.

Следующим шагом в развитии ожидается применение малогабаритных т.н. "атомных" генераторов на основе цезиевых резонаторов, сведения о продаже которых уже существуют. Точность "атомных часов" - $\pm 5*10^{-11}$ секунд/сутки.

Неопределенность положения и ориентации донного модуля на морском дне.

Точное определение местоположения донного модуля на дне и его ориентация в точке наблюдения определяет точность построения результирующего геологического разреза и является критически важным параметром. Для уточнения местоположения донного модуля «Turtle-500» в настоящее время используются программные методы, основанные на обработке сейсмических материалов (первых вступлений). Возможно также применение активных или пассивных систем гидроакустического позиционирования, например, Sonardyne или Sonarbell, соответственно. Ориентация донного модуля на морском дне обеспечивается встроенным угломером HMR3300. Информация об азимуте и угле отклонения донного модуля от вертикали записывается в специальные служебные файлы и может использоваться в обработке.

Оперативность подготовки донных модулей к постановке: инициализация, тестирование, скачивание информации, контроль качества данных, зарядка аккумуляторов и т.д.

Одним их ключевых элементов технологии «Turtle-500» является контейнерный способ организации полевых работ. Все донные модули хранятся, транспортируются и обслуживаются в едином технологическом контейнере (рис.2). В контейнерах также размещается все дополнительное оборудование – лодки-расстановщики, такелаж, рабочие места и т.д. Данный подход позволяет, во-первых, использовать для выполнения полевых работ неспециализированные сейсмические суда, во-вторых, обеспе-

чить оперативную мобилизацию в любую точку планеты и, в-третьих, легко масштабировать количество задействованного оборудования. Перед началом полевых работ в технологическом контейнере с центрального сервера производится инициализация всех донных модулей (устанавливаются необходимые параметры записи - коэффициенты усиления по каналам, частота дискретизации входного сигнала, синхронизация внутренних часов). Далее донные модули расставляются на исследуемом участке акватории в соответствии с программой работ. После выполнения цикла регистрации сейсмических данных, определяемого, в частности, автономностью донных модулей, они возвращаются в технологический контейнер для скачивания информации, зарядки аккумуляторов, контроля работоспособности и качества данных. Процедура обслуживания донных модулей перед следующей постановкой, как правило, занимает до 12 часов.

Производительность выполнения полевых работ по технологии донной сейсморазведки.

Производительность выполнения полевых работ зависит от времени обслуживания донных модулей в технологическом контейнере, что было описано выше, и от времени расстановки/сбора донных модулей. При большом количестве оборудования, потери времени на непроизводственные работы могут быть минимизированы путем распараллеливания непроизводственных процессов с процессом регистрации. Тем не менее, даже в этом случае оперативная расстановка/сбор донных модулей способствует повышению производительности. Расстановка и сбор донных модулей может осуществляться ккак с крупнотоннажных судов, так и с маломерных, что особенно важно при работах на мелководье и в транзитных зонах, с маломерных судов. Использование специализированных быстроходных лодок-расстановщиков (рис.3), являющихся также частью технологии сейсмического комплекса «Turtle-500», в значительной мере повышает производительность работ. Донные модули расставляются на акватории гирляндой на фале отрицательной плавучести или с сигнальными поплавками. Также модули могут быть вынесены на береговую линию и установлены в приливно-отливной зоне или на суше. Применение бескабельной технологии обеспечивает высокую технологичность и гибкость при выполнении полевых работ.

▲ *Рис. 3. Постановка донных модулей с моторной лодки*

Апробация технологии многокомпонентной донной сейсморазведки на основе модулей «Turtle-500».

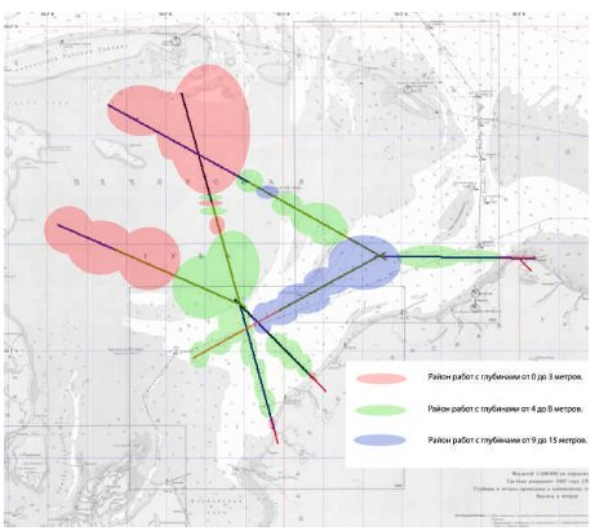
В 2014 году было успешно завершено выполнение ООО «Сейсмо-Шельф» морских сейсморазведочных работ 2D-4C/3C по геологическому изучению недр на акватории Печорского моря с применением исключительно Российских

передовых технологий морской донной сейсморазведки [2]. Работы выполнялись по заказу ФГУП ВНИГРИ Федерального агентства по недропользованию при методическом сопровождении ГНЦ ФГУП «ВНИИгеосистем». Данный проект явился полномасштабной апробацией российской технологии донной сейсморазведки. В отзывах, полученных от независимых рецензентов, была отмечена уникальность выполненных полевых работ, которая заключалась в примененной отечественной инновационной технологии многокомпонентной донной сейсморазведки с использованием автономных четырехкомпонентных донных регистраторов «Turtle-500» производства ООО «Сейсмо-Шельф».

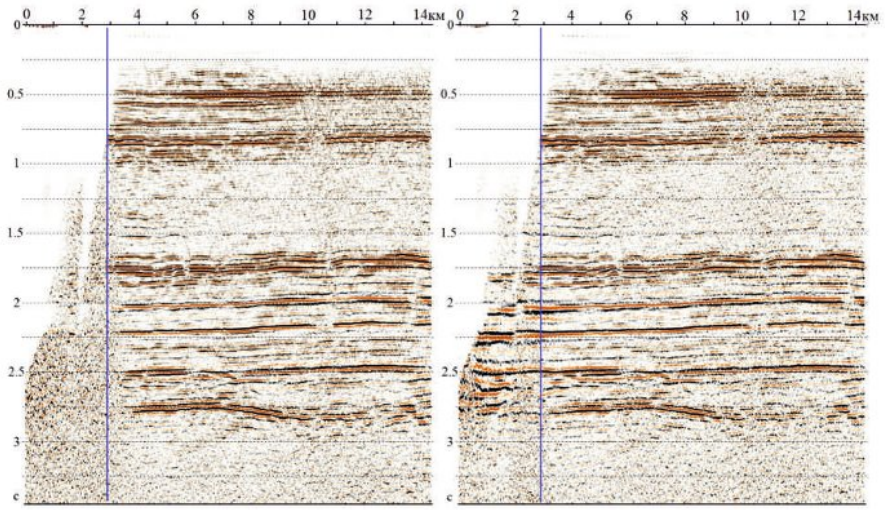
Основной целью данных работ являлось непрерывное прослеживание участков «суша-море» с целью коррекции морских структурных построений и увязки их с сухопутными профилями.

В качестве источника сейсмического сигнала в данном проекте использовались пневмоизлучатели «Малыш» разработки ООО «Пульс» (г. Геленджик), так что степень локализации полевого геофизического оборудования российского производства (многокомпонентные сейсмические донные станции, пневмоисточники, компрессоры) составила практически 100%, что делает данные работы уникальными в свете практически полного завоевания данного рынка зарубежными компаниями.

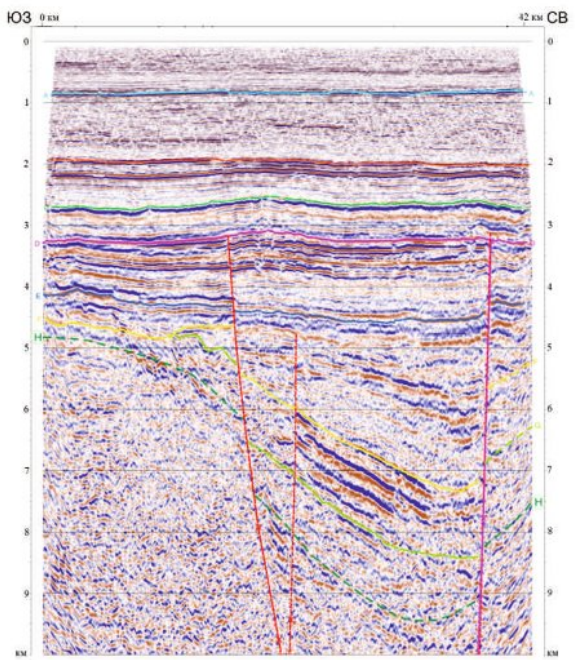
Район выполнения полевых работ (Печорская губа) отличается исключительно сложными батиметрическими и гидрогеологическими условиями. Плановые профили располагались на глубинах от 15 метров до предельного мелководья и выхода на сушу (рис.4). Гидрогеологический режим характеризовался мощным выносом водных масс рекой Печорой и приливно-отливными явлениями. Технология донной сейсморазведки проявила себя исключительно хорошо в наисложнейших условиях. Благодаря гибкости и универсальности, донные модули «Turtle-500» были использованы как на морской, так и на сухопутной части проекта, что позволило собрать унифицированный многокомпонентный материал и продемонстрировать высокую производительность работ. Относительно тяжелые модули обеспечивали плотный контакт с грунтом, позволяли адаптировать систему регистрации при наличии искусственных помех на линии профиля (затонувших судов). В силу климатических условий и природоохранной политики непрерывный сбор однородного сейсмического материала в транзитных зонах сталкивается с большими трудностями. В ходе выполнения данного проекта удалось обеспечить выход на сушу с донным многокомпонентным оборудованием до удалений в несколько километров и получить качественные материалы. Сейсмические



▲ *Рис. 4. Батиметрическая характеристика района работ*



▶ *Рис. 5. Пример обработки сейсмических материалов суша-море по стандартной однокомпонентной методике (гидрофон, разрез изображен слева) и методом PZ суммирования (гидрофон + геофон, разрез изображен справа). Вертикальной синей линией отмечена береговая черта.*



▲ *Рис. 6. Пример финального сейсмогеологического разреза*

материалы, полученные по российским технологиям, по качеству не уступили, а по отдельным позициям и превзошли сейсмические материалы, полученные ранее в Печорской губе с использованием зарубежных технологий.

Результаты обработки полевых материалов. Отдельно стоит отметить преимущества многокомпонентной регистрации в транзитных зонах. На рис.6. показан разрез суша-море, полученный по стандартной однокомпонентной методике и методом PZ суммирования (гидрофон + геофон). Очевидно, что задача непрерывного прослеживания участков «суша-море» была выполнена только во втором случае. Пример финального сейсмогеологического разреза представлен на рис.6.

Обработка и комплексная интерпретация полученных материалов обеспечила информативное прослеживание целевых горизонтов на значительных глубинах, позволила увязать ранее выполненные сейсмические профили, как в Печорской губе, так и на прилегающей суше, уточнить структурные построения и современную оценку углеводородного потенциала изученной площади.

Выводы.

Технология многокомпонентной донной сейсморазведки на основе модулей «Turtle-500» российской разработки зарекомендовала себя как эффективный инструмент выполнения геологоразведочных работ на нефть и газ в шельфовых, мелководных и транзитных зонах, не уступающий по большинству параметров западным аналогам. Дальнейшее

развитие технологии донной сейсморазведки будет направлено как на повышение производительности, снижение себестоимости полевых работ, так и на развитие эффективных методик обработки и интерпретации полученной информации, в первую очередь, многокомпонентных сейсмических материалов.

Коллектив авторов выражает глубокую благодарность заместителю директора ФГУП ВНИГРИ, д.г.-м.н. Григоренко Юрию Николаевичу и ведущему научному сотруднику ФГУП ГНЦ РФ «ВНИИгеосистем», к.т.н. Аккуратову Олегу Сергеевичу за помощь и поддержку на всех этапах данной работы.

Литература

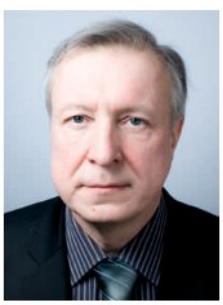
1. Н.П. Лаверов, Ю.В. Рослов, Л.И. Лобковский, А.В. Тулупов, М.А. Воронов, О.Ю. Ганжа. Перспективы донной сейсморазведки в Российской Федерации // Арктика: экология и экономика. 2011. № 4. С. 4-13.

2. Рослов Ю.В., Мережко А.А., Жемчужников Е.Г, Половков В.В.. Попов Д.А. Многокомпонентные сейсморазведочные работы в транзитной зоне Печорской губы с использованием мобильного комплекса модулей Turtle-500 // 6thSaint-Petersburg International Conference & Exhibition, Saint-Petersburg, Russia, 7-10 April 2014

Подробнее об авторах

Рослов
Юрий Викторович

заместитель директора
по геофизике и развитию
бизнеса ООО
«Сейсмо-Шельф»



Воронов
Михаил Аркадьевич

главный инженер
ООО «Сейсмо-Шельф»

Половков
Вячеслав Владимирович

начальник отдела
обработки и интерпретации
сейсмических данных
ООО «Сейсмо-Шельф»

Долотказин
Ильдар Ниязьевич

главный технолог
ООО «Сейсмо-Шельф»

Авторы выражают благодарность О.С.Аккуратову (ВНИИГеоинформсистем) и Ю.Н.Григоренко (ВНИГРИ) за неоценимую помощь на всех этапах работ.

Бескабельные технологии сейсморазведки – универсальный инструмент при поиске месторождений углеводородов. На примере оборудования GSX компании GEOSPACE TECHNOLOGIES INC. (США)

Ясницкий Ю.С., Бакман П.М.

Основное внимание в статье уделено технике, методике наблюдений и области применения бескабельной аппаратуры в сейсморазведке. Рассмотрены практические примеры современного подхода к съёмке с высокой плотностью наблюдений.

Современные тенденции. Новые технологии

В течение последних двух десятилетий электроника развивалась революционными темпами. Вычислительные мощности электронных систем и технологичность вспомогательных компонентов росли экспоненциально год от года и, в то же время, стоимость их падала. В начале двадцать первого века появилась возможность построения чрезвычайно сложных, производительных и компактных электронных промышленных систем.

В отрасли геологоразведки и сейсморазведки, в частности, технологический ресурс дал возможность не только оптимизации производства, но и повлиял на развитие принципиально новых методик работ.

Для нефтяных компаний обязательным условием стало получение точной картины недр с высокой степенью детальности, что повернуло вектор развития сейсморазведки в сторону 3D наблюдений. Наличие данных 3D сейсморазведки стало обязательным условием при поиске углеводородного сырья и является отправной точкой перед началом разработки нового месторождения. Тем не менее, в 60 % - 70% случаев геофизические модели месторождений не подтверждаются результатами бурения. Нефтяные компании стали акцентировать внимание на качестве, временных рамках и общей стоимости проведения 3Dсейсморазведки. Это породило сильнейшую конкуренцию в мире сервисных компаний. Тот, кто не сможет дать лучший результат в каждой из перечисленных категорий – проигрывает.

В условиях отсутствия неразведанных крупных месторождений углеводородов, всё чаще стали разведываться и разрабатываться некрупные месторождения со сложно извлекаемыми запасами. Зачастую это структуры с трещиноватыми, относительно маломощными (5 – 20 метров), литологически неоднородными коллекторами. В таких условиях технологии сейсморазведки, использующие традиционные регулярные системы наблюдений, не приносят ожидаемого результата. Здесь требуется более плотная система наблюдений с расстоянием между пунктами приема (ПП) в 5 – 10 – 15 м и позволяющие формировать нерегулярные системы наблюдений, где варьируется расстояние между ПП. Эти требования практически нереализуемы в широко использующихся в промышленности кабельных сейсмических системах. Такие методики могут быть реализованы только с помощью бескабельных сейсмических систем. В комбинации с важнейшим современным направлением развития сейсморазведки - увеличением кратности наблюдений– это приведет к увеличению общей детальности исследований, и, как следствие, к более точным геофизическим моделям месторождений углеводородов.

В результате непрерывного наращивания количества каналов при сейсморазведочных работах с помощью кабельных систем был достигнут предел эффективности их использования, вызванный необходимостью постоянного поддержания линий в рабочем состоянии. Выход из строя единичного звена приводит к потере работоспособности целого участка, либо целиком всей приёмной линии и к необходимости приостанавливать работы до устранения неполадки на вышедшем из строя участке линии. Дальнейшее наращивание количества используемых каналов стало нецелесообразным или даже приводящим к рецессии в эффективности использования кабельных систем. Природа классических кабельных систем такова, что часто возникают непреодолимые сложности при развёртывании системы на сложных участках местности, становится невозможным создание геометрически сложных приёмных профилей. Следствием этого становится сложность тотального контроля качества установки регистраторов на местности. Между тем, построение детальных геофизических моделей месторождений требует проведения высокоплотных широкоазимутальных съёмок и избавление от аляйсинга как полезного сигнала, так и волн-помех. Это в свою очередь снова требует дальнейшего наращивания числа каналов.

Выходом оказалось создание автономных бескабельных систем, не требующих постоянного ремонта линий и замены постоянно разряжающихся батарей, причём на разных участках площади. Даже выход из строя единичной регистрирующей станции не влечёт за собой вывод из работы целого участка и позволяет заменить неисправный блок не прерывая производственные работы. Разряд же питающих элементов прогнозируется с помощью программного обеспечения и оператор заранее планирует своевременную замену батарей и наиболее оптимальный маршрут сервисной бригады. Срок работы на профиле питающих элементов современных бескабельных систем (GSX) с при температурах до -40С° составляет более 40 суток в режимах непрерывной записи.

Если заглянуть в ближайшее будущее, то дальнейшее развитие сейсморазведки будет направлено на развитие методик со сложной геометрией приёмных линий или даже со свободной геометрией приёмных точек. На основе зарегистрированных собственных местоположений приёмников, обрабатывающий комплекс будет проводить геометрические преобразования и построение 3Dсейсмического куба иным, чем доминирующим сейчас способом использования классических разрезов 2D линий. Также в ближайшем будущем можно с уверенностью прогнозировать переход на использование 32-битных АЦП в полевых регистраторах, что позволит существенно повысить мгновенный динамический диапазон и при этом снизить шумы сейсмического тракта и нелинейность сигнала.

Создание бескабельных систем, способных удовлетворить самым строгим запросам нефтяных компаний, накладывает определённые технологические требования на компонентный и промышленный дизайн полевых регистраторов. Каждая регистрирующая единица должна удовлетворять следующим важнейшим требованиям:

- Надёжность компонентной базы и внешнего корпуса; устойчивость к внешним агрессивным воздействиям; работа в любом естественном спектре температур и влажности.

- Компактность и лёгкий вес оборудо-

вания. Причём учет этого параметра чрезвычайно важен с самого начала планирования партии. Он влияет на численный состав партии, её мобильность, скорость расстановки и сбора оборудования, что, в итоге, напрямую влияет на итоговую себестоимость работ.

- Использование компонентной базы, допущенной для гражданского использования, а именно: GPS приёмника, радио модулей, работающих в лицензируемом диапазоне частот.

- Точная самостоятельная привязка к местности на основе принимаемых сигналов системы геопозиционирования; возможность осуществления и в дальнейшем корректировки привязки в самых сложных метеорологических условиях и вне зависимости от урбанистических и техногенных осложняющих факторов.

- Оцифровка сейсмического сигнала в широком частотном и амплитудном спектре и совместимость с различными типами стандартных сенсоров, применяемых в индустрии; использование общепринятых частот дискретизации при оцифровке аналогового сигнала: 250μs; 500 μs; 1ms; 2ms; 4ms; линейный или минимальный антиалайсинговые фильтры; аппаратная реализация ВЧ фильтра.

- Максимально длительная автономная работа, обеспечивающая достаточное время бесперебойной работы до следующей перестановки блока. При современных реалиях часто требуется обеспечить бесперебойную работу блока в течении месяца и более.

- Модульная конструкция регистрирующей станции, позволяющая оперативно заменить аккумуляторную батарею или сенсор, не заменяя при этом сам блок полевого регистратора, или, напротив, заменить только регистратор, при этом оставив на поле батарею и сенсор.

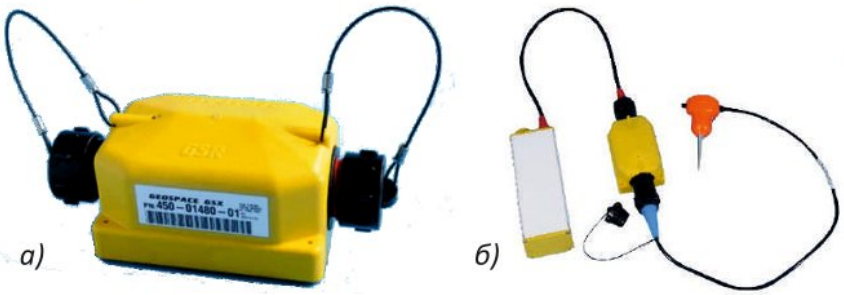
- Надёжное хранение записанных данных в энергонезависимой памяти блока, позволяющей извлечь данные даже при выходе из строя самого регистратора или его физического повреждения.

- Возможность переноса блока на любую другую точку регистрации и немедленный запуск в работу на новой точке. При этом данные в памяти будут разделены на сегменты, принадлежащие различным точкам регистрации. Это условие позволяет перемещать регистратор на новый участок, не возвращая блок на базу для считывания данных.

- Ведение регистрации по расписанию с временными промежутками на простой и сон с переводом электроники в ждущий режим с крайне малым электропотреблением. Таким образом, если по правилам техники безопасности производственные работы запрещены в тёмное время суток, блок перейдёт в режим ожидания и будет экономить запас собственной автономности.

- Возможность комбинированной работы с классической кабельной системой. У большинства сервисных компаний, давно работающих на рынке, уже сформирован технический парк, представленный кабельными системами. Списывать имеющееся исправное оборудование – непозволительная роскошь, поэтому бескабельная системы должна иметь возможность работы в тандеме с любой кабельной системой и в этом случае может быть использована на сложных участках местности, участках сельскохозяйственных угодий или в населённых пунктах, где использование кабельной системы попросту невозможно.

- Возможность использования высокопроизводительных систем отстрела, в



а) *б)*

◄ *Рис. 1.*
а) Блок полевого регистратора
б) Блок полевого регистратора с подключенными батареей и одиночным геофоном.

том числе с использованием одновременно работающих нескольких групп вибраторов. Такая методика возможна только при использовании автономных бескабельных систем и позволяет кратно повышать производительность работ, соответственно снижая их себестоимость.

В работе с бескабельной системой важнейший вопрос - обеспечение надёжности всей полевой расстановки и контроль качества рабочих параметров. Необходимо убедиться, что сенсоры корректно установлены, заряда батарей хватит с запасом на отработку планируемого участка, сама электроника работает без сбоев, а регистраторы установлены точно в соответствии с плановыми координатами. Реализация этих задач возложена на мобильные бригады, оснащённые полевыми терминалами для сбора статистических данных и собственных статусов регистраторов.

Данные о работе регистраторов передаются по радиоканалу в радиусе до трёхсот метров от всех расположенных в зоне приёма модулей и записываются в базу данных полевого терминалаLV. Оператор терминала LVотслеживает таблицу данных по каждому из опрошенных блоков и, в случае нештатной работы какого-либо из модулей приёмной станции (регистратора, сенсора или батареи), принимает самостоятельное решение о его замене. Несколько мобильных групп с полевыми терминалами, передвигаясь вблизи приёмных профилей, собирают статистику о работе всей расстановки. Все переданные регистраторами данные записываются в общие базы данных на каждом из полевых терминалов LV и в конце процесса контроля площади отдаются оператору на станцию. В дальнейшем оператор может отслеживать все перемещения регистраторов и батарей независимо друг от друга по всей площади работ, строить прогнозные диаграммы автономности на основе оставшейся в регистраторах свободной памяти и уровня заряда батарей.

▲ *Рис.2 Полевой Терминал “LineViewer”LV*

Применение одиночных приёмников – новая философия

Группирование сейсмоприёмников в поле всегда применялось для снижения влияния поверхностных волн. Поскольку сигналы поверхностных волн имеют выраженную пространственную поляризацию, с ростом производительности аппаратного обеспечения и эффективности вычислительных центров стало

▼ *Табл. 1. Спецификации системы GSX*

Коэфф. усиления	SI:2ms[1] дБ	Макс.входной сигнал Vrms[3]
1	0	1,80
2	6	0,90
4	12	0,45
8	18	0,22
16	24	0,11
23	30	0,06
64	36	0,30
Суммарно	SDR[5]	140

Коэфф. усиления	SI:2ms[6] дБ	Эквивалентный входной шум Микровольт rms[7]
1	0	1,13
2	6	0,58
4	12	0,33
8	18	0,22
16	24	0,19
23	30	0,18
64	36	0,17

Фильтр против эффекта наложения
>nyq 130дБ
0,87FNлинейныйилиминимальный

CMR[8]	0,001%	100дБ

Погрешность усиления	1%

Стандартное время	<1мсек

Максимальнаяфазоваяпогрешность20мсек

Влажность	от0 до100 %
Температура	от–40до+85єС

Вес	2фунта	0,9кг

Интервал дискретизации,	SDR[2]/0дБ
4	126
2	124
1	120
0,5	117
0,25	106

Коэффициент усиления	SI:2ms[4] дБ	SDR/0дБ
1	0	124
2	6	123
4	12	122
8	18	120
16	24	115
23	30	110
64	36	105

Суммарные гармонические искажения	%	дБ
	0,00050%	106

Формат выходных данных	SEGDrev2;SEGY

Полное сопротивл-е входа		Режим
	20К0,06мф	Разности
	205К	Общий

Выгрузка данных из памяти	8-16-32Гб
До20мин	
Одновременнаяразгрузкадо400блоков	

Тестирование установленных геофонов

Аккумулятор		10ампер-час
Блок		8,5фунтов
Габариты		дюймы
В3,32	Ш5,86	Д6,18

Продолжительность зарядки	11часов

[1] Интервалдискретизации:2мсек
[2] SDR–Signal-to-Distortion Ratio–Отношение"сигнал/искажение"
[3] Rms–среднеквадратичное значение
[4] Интервалдискретизации:2мсек
[5] SDR–Signal-to-Distortion Ratio–Отношение"сигнал/искажение"
[6] Интервалдискретизации:2мсек
[7] Rms–среднеквадратичное значение
[8] CMR–Common Mode Rejection–Подавление синфазного сигнала

выгоднее заниматься их подавлением уже на стадии обработки данных, применяя при этом одиночные приборы. Вдобавок к этому, эффективность подавления поверхностных волн помех с частотами 10Гц и ниже стоит рассматривать только для площадей с очень низкими скоростями ЗМС. Промышленным стандартом при проведении 3Dсейсмических съёмок становится обязательное наличие отдельных площадных исследований верхней части разреза.

С увеличением плотности наблюдений, группирование стало превращаться в пережиток прошлого. Так, при сокращении базы с привычных 50-ти метров до нового 10 – 20-ти метрового стандарта, группы геофонов стало просто негде устанавливать. Следует обратить внимание на неподстраиваемость группы под внешние условия. Скажем, если на предприятии уже имеются несколько тысяч групп с 50-ти метровой базой, то участвуя в тендере на отработку нового участка с базой в 25 метров, придётся изыскивать дополнительные инвестиции, необходимые для приобретения нового комплекта групп геофонов, удовлетворяющих требованиям нового контракта. Если же контракт предполагает нерегулярную систему наблюдений с варьирующимся расстоянием между пунктами приёма, то такое условие влечёт дополнительные сложности в реализации контракта.

Все те преимущества, которые обеспечивают группированные сенсоры, достижимы подчас только в идеальном мире. Так, например, увеличение полезного сигнала в соотношении с сигналом помехи мы будем иметь только в том случае, если собственноручно не добавим шумов неидеальной расстановкой группированного прибора. На практике же, провода, свободно висящие между установленными приборами в группе, будут играть как гитарная струна, даже при слабом ветре (Рис. 3). Чтобы избежать этого, придётся прикапывать все провода между приборами в группе. И таких групп тысячи или даже десятки тысяч. А учитывая погодные особенности на территориях целевых участков в Восточной и Западной Сибири, иногда при перемотке невозможно собрать группу из-под намороженной за несколько дней ледяной корки, не повредив её. При этом все приборы в группе должны быть идеально установлены (и ориентированы по азимуту, в случае с трёхканальными блоками) и центр группы должен находиться строго на пункте приёма. Более того, группа геофонов способна серьёзно исказить амплитудно-частотную характеристику полезного сигнала из-за неоднородности ЗМС, естественных неровностей грунта и не полной идентичности установки по вертикали отдельных приборов в группе. Из-за неоднородных поверхностных условий будут наблюдаться статические сдвиги внутри групп. Так для стандартной группы в 25 метров, статические сдвиги могут составлять 15 – 20мс. При сложении же несинфазных сигналов с приборов группы, может произойти подавление высокочастотной части полезного сигнала с потерей корреляций отраженных и первых вступлений преломленных волн. Далее, при использовании линейных групп геофонов на площадях с 3Dсъёмкой высокой плотности наблюдений выявится присутствие эффекта азимутальной анизотропии. Эффективно противостоять этому эффекту можно только применяя изометричные группы с геометрически правильным расположением геофонов в системе группы. Сложность и стоимость работы с такими типами групп очевидна.

▶ *Рис. 3. Типичные проблемы установки групп геофонов в поле*

Если вернуться в реальный мир, то идеальные расстановки, особенно в мега партиях – огромная редкость. Используя в сравнимых условиях одиночные приборы, можно добиться даже более качественного сигнала в соотношении сигнал – помеха. Разумеется, тут следует отметить, что обычным геофоном невозможно достичь такого результата. Необходимо применение приборов с повышенной чувствительностью, сопоставимой с чувствительностью целой группы геофонов, и способностью полностью сохранять рабочие характеристики и вести запись даже при значительных углах наклона прибора. Производство столь прецизионных сенсоров требует огромных научно-производственных затрат.

Компания Geospace Technologies Inc. действительно инвестировала значительные средства в разработку и производство прибора GS-ONE, который в значительной степени соответствует описанным выше требованиям. При этом цена такого одиночного прибора сопоставима и даже ниже цены группы традиционных приборов. Себестоимость его использования также на 25 – 30 % ниже. С увеличением количества используемых каналов и плотности системы наблюдений, разница в себестоимости использования одиночных приборов и групп приборов становится особенно весомым фактором, влияющим на себестоимость работ.

Собственная частота (Fn): 10 Гц ±3,5%
Искажения: < 0,1%
Максимальный угол наклона для спецификаций по искажениям: 10°
Чувствительность: 85,8 В/м/сек ±3,5%
Затухание: 0,70 ТИП с 20 кОм
Затухание открытой цепи: 0,48 – 0,54
Омическое сопротивление: 1 800 Ом ±3,5%
Ложная частота: > 240 Гц
Движущаяся масса: 14 грамм
Минимальное перемещение катушки межпиковое: 2,54 мм
Диаметр: 30,2 мм
Высота: 39,9 мм
Вес: 130 грамм
Диапазон рабочих температур: -40°C ~ +100°C

▲ *Рис. 4. Одноэлементный геофон GS-ONE*

Одноэлементный геофон сконструирован так, чтобы быть сравнимым по чувствительности с группой геофонов 3х2 или 6х1, обеспечивая при этом выигрыш в стоимости и весе. Геофон отличается низким уровнем искажений, высоким отношением "сигнал/шум" и сигналом надежного качества.

Наиболее дальновидные заказчики планируют проведение наблюдений с высокой плотностью ещё на стадии разработки геологического задания. К настоящему времени компания Geospace Technologies Inc. поставила своим заказчиком по всему миру около 400 000 одноканальных регистраторов GSX и около 30 000 трехканальных регистраторов GSX, причем весьма существенная часть этих поставок осуществлялась в комбинации с современными приборами GS- ONE в 1 -компонентом и 3-х компонентном вариантах.

Сейсморазведка на шельфе – мелководье – суше - бесшовная технология

В силу концептуального различия условий проведения сейсморазведочных работ на шельфе, мелководье и на суше, до недавнего времени при проведении работ на каждом из таких участков использовались различные типы сейсморазведочного оборудования, как в части приема сейсмического сигнала, так и в части его возбуждения. Именно в силу различия типов используемого при полевых работах оборудования возникают серьезные проблемы при необходимости стыковки данных, полученных на этих участках. В силу тех же причин стоимость проведения работ на шельфе, мелководье и суше отличаются разительно. Самыми «дорогими» являются проекты на участках мелководья. Основными составляющими частями этой «дороговизны» являются стоимость специализированного сейсмического оборудования и низкая производительность партии при высокой стоимости плавсредств, используемых пи выполнении проектов. При этом производительность напрямую зависит от ограничений, накладываемых на это специализированное сейсмическое оборудование. Такими ограничениями являются – состояние погоды, водной среды, дна, наличие гидротехнических и иных сооружений в приливно-отливных-прибойных зонах. Ведь по сути, специализированное сейсмическое оборудование для мелководья – это адаптированное для иных условий кабельное сейсмическое оборудование для суши со всеми присущими кабельным системам проблемами (питание, смотка-размотка, объемные хранилища для кос и т.д.). Все это обуславливает низкую производительность при работах на мелководье. В мировой практике разведки месторождений углеводородов исторически сложилось так, что зоны мелководья стали объектом внимания нефтяных компаний в последнюю (по времени) очередь. Зачастую это было обусловлено высокой стоимостью сейсмических работ и технической сложностью их качественного проведения. Тем не менее, в последнее десятилетие объем сейсморазведочных работ на мелководье быстро растет. Ответом на этот запрос нефтяных компаний стала разработка производителями сейсмического оборудования автономных бескабельных систем, одной из которых является оборудование GSX компании Geospace Technologies Inc.

Наиболее распространенным оборудованием для проведения сейсморазведочных работ в мелководной зоне являлись (и являются до сих пор) донные косы, со встроенными или присоединяе-

мыми датчиками – блоками - регистраторами. Такому оборудованию необходимо обеспечить питание, а так же надёжную передачу потока данных к телеметрической станции. Ранние образцы донных кос представляли собой многожильные армированные кабели с экранированными высоковольтными питающими и телеметрическими жилами и подключёнными к ним громоздкими блоками регистраторов. Для подачи питания к блокам регистраторов требуются мощные источники питания, располагающиеся на судне. Это, как и другие технические решения, формировали жесткие требования к самому судну. Существенную сложность представляют требования к точному позиционированию приёмных линий при раскладке и точности маневрирования судна как на предельно малых, так и на больших глубинах. Сложность обеспечения питанием всех блоков на донных косах являлась сдерживающим фактором в росте канальности таких кабельных систем, что и привело к невозможности организации систем наблюдения с высокой степенью кратности. Основное время расходуется именно на маневрирование судна, подмотку отработанных участков и раскладку новых линий.

Всех вышеперечисленных проблем лишены только автономные блочные системы регистрации. Каждый автономный блок подразумевает наличие встроенного индивидуального питающего элемента. До недавнего времени главным фактором, осложнявшим развитие донных автономных сейсмических систем, оставалась энергоёмкая элементная база. Другим таким фактором являлось отсутствие технологии производства источников питания, обеспечивающих длительную работу автономных блоков на дне. Сегодня эти проблемы в значительной степени решены, что позволило приступить к производству таких автономных систем. В этих системах важнейшим элементом являются встроенные цифровые часы, которые должны обеспечивать хронометрическую точность хода с допустимой ошибкой не более десятков микросекунд и при этом быть синхронизированными со всеми остальными блоками группы и остальными компонентами системы в целом. При этом электронные компоненты блоков не должны менять свои характеристики при температурных флуктуациях, связанных с погружением блока в водную среду на разных глубинах. Внутренний кварц осциллятора должен обеспечивать идентичную частоту во всём диапазоне рабочих температур. Для обеспечения синхронизации блоков получила развитие идея применения опорного сигнала ежесекундного временного штампа глобальной системы позиционирования. Обеспечить кварцевому генератору точный ход призвана система поддержания постоянный температуры часового блока. Другими словами, снабжение кварцевого механизма донного регистратора постоянно работающим терморегулятором энергозатратно. Поэтому питающий элемент должен обладать достаточной ёмкостью для поддержания автономного функционирования блока в течение достаточно длительного срока.

Компания Geospace Technologies Inc. инвестировала в создание системы с автономными донными регистраторами значительные средства, применяя в разработке лучшие научно-технические инновационные достижения. На протяжении нескольких лет проектировались и дорабатывались донные регистраторы OBR - OBX (Ocean Bottom Recorder), способные удовлетворить всем требова-

ниям стандарта сбора сейсмических данных с учётом всех специфических требований работ на мелководье. Geospace Technologies Inc.поставляет на рынок систему OBX в двух глубинных модификациях, различающихся чувствительностью сенсора гидрофона.

Модификация в поликарбонатном корпусе предназначена для работы на глубинах до 450м,

Титановые же блоки способны выдерживать огромное давление и работают на всём спектре целевых глубин шельфовой сейсморазведки (0м – 3000м). Обе модификации позволяют продлить приёмные профиля с выходом на берег и стыковаться с наземной бескабельной системой GSX.

▲ *Рис. 5. Донные регистраторы OBX в поликарбонатном и титановом исполнении.*

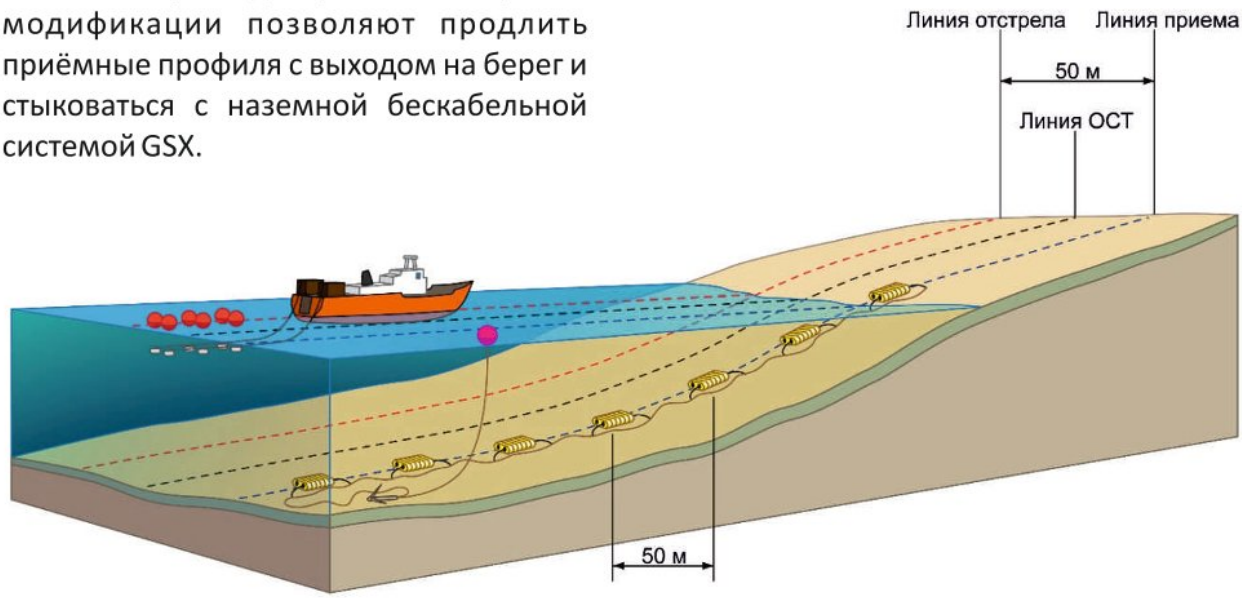


Рис. 6. Вывод приёмных линий непосредственно на берег (Рисунок Предоставлен ОАО МАГЭ)

Последнее поколение системы OBX обеспечивает автономную регистрацию сейсмических данных непрерывно на протяжении 35 дней при 2мс периоде квантования сигналов всех 4-х компонент.

В ближайшем будущем планируется модернизация системыOBX с применением нового поколения встраиваемых атомных часов, обеспечивающих абсолютную точность хода, ещё более ёмкой батареи и модулей энергонезависимой памяти. Такая система сможет предложить рекордные сроки автономной работы с непрерывной записью 4-х компонентного сигнала в течении 55 дней.

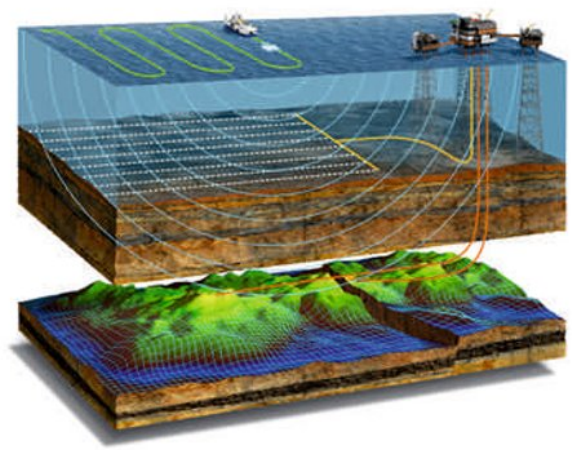
Мониторинг месторождений углеводородов. 4D Сейсморазведка.

Последние 10 лет многие высокотехнологично ориентированные нефтяные компании все чаще используют возможности 4D съёмки как инструмент мониторинга и прогнозирования разработки месторождений углеводородов. При постановке задачи прогнозирования методики разработки месторождений особая роль отводится многоволновой регистрации, что позволяет использовать

данные не только по продольным волнам с высокоскоростными характеристиками распространения практически во всех породах, но и по поперечным и обменным волнам. Регистрация и последующая интерпретация всех данных позволяет построить модель с учётом всех структурных особенностей границ и свойств геологического разреза, локализовать зоны трещиноватости, АВПД и дать объективную оценку распространения флюидов в пласте. Добавляя четвёртую составляющую компоненту временной корреляции, нефтяные геологи получили инструмент достоверного прогнозирования изменения характеристик резервуара и его дальнейшей разработки и эксплуатации.

Компания Geospace Technologies Inc. , являясь одной из ведущих инжиниринговых компаний в геофизической отрасли, предлагает своим клиентам – нефтяным компаниям -услуги по проектированию и осуществлению проектов 4Д съемки. Каждый из таких проектов абсолютно индивидуален и учитывает уникальные условия 4D мониторинга отдельно взятых месторождений. Существуют такие проекты на суше, на шельфе, в переходной зоне, что предполагает кардинально отличные подходы к их реализации. Хорошим примером разрозненности реализаций могут выступить следующие проекты:

Саудовская Аравия, лицензионный участок одной из местных нефтяных компаний. Находящееся на начальном этапе разработки месторождение со сложным генезисом коллекторов. Для минимизации расходов на бурение дополнительных множественных стволов скважин, было принято решение включить непрерывный мониторинг разрабатываемых участков с помощью 4D наблюдений. Запланированный срок наблюдений ежедневных флуктуаций – более 4-х лет. Суровые условия аравийской пустыни с огромными перепадами суточных температур и постоянно движущимися барханами потребовали разработки и производства уникального комплекса сейсмического оборудования. Geospace Technologies Inc. была разработана уникальная система площадной регистрации с углубляемыми на 40 метров сейсмоприёмниками. Фактически все компоненты системы выкладываются под поверхностью на глубине от полутора до сорока метров и при этом все компоненты считаются необслуживаемыми. Разумеется, такой подход предполагает перманентную установку системы с заведомо высочайшей характеристикой отказоустойчивости, рассчитанной, как минимум на двойной срок бесперебойной эксплуатации.



Возможность построения столь отказоустойчивых систем уже была продемонстрирована ранее компанией Geospace Technologies Inc. на шельфовых участках месторождений, принадлежащих копаниям BP, Statoil, Shell, Petrobraz. Первые из них относятся к 2003 году и работают до сих пор, позволяя увеличивать извлекаемые объемы нефти и позволяя минимизировать риск аварий при бурении и разработке месторождений. В условиях одного из месторождений, была поставлена задача мониторинга в непосредственной близости в распространении от ствола основной добывающей скважины. Специалисты Geospace Technologies Inc. разработали с нуля систему с радиальной лучевой топологией распространения приёмных линий с интегрированными 4-х канальными донными регистраторами.

На другом месторождении требовалось спроектировать систему ортогонального типа по образу классических наземных систем с центральной транслирующей линией и перпендикулярными приёмными донными косами. В кратчайшие сроки система была спроектирована и установлена силами инженерного подразделения Geospace Engineering Resources International,. Система функционирует и контролируется из головного офиса компании по сей день уже на протяжении 4-х лет.

В третьем случае оказалось целесообразным применение глубоководных (до 3000м) автономных регистраторов, циклически устанавливаемых и собираемых уникальным глубоководным роботизированным управляемым аппаратом. Эта методика дала возможность проведения высокоплотной 3Dсъёмки на океанском дне в зоне непосредственной близости к платформе, перекрытой якорными и стабилизационными канатами и закрытой для движения сейсморазведочных судов.

Заключение

Ближайшее будущее сейсмической разведки - в мегапроектах 3 – Д с использованием десятков тысяч каналов, с высокой кратностью наблюдений (200 и более), усложненной геометрией наблюдений и отстрела. Экономически целесообразными такие проекты могут стать только при достижении высокой производительности и снижении себестоимости единицы сейсмической информации.

В данной статье сделана попытка показать, что эти цели возможно достичь только используя бескабельные системы сбора сейсмической информации.

Гибкость использования, компактность, легкий вес, высокая надежность и использование самой современной элементной базы делают бескабельные системы безальтернативным будущим инструментом геофизических контракторов. Все эти качества присущи как сухопутным, так и морским бескабельным системам. Все более широкое распространение получает использование бескабельных систем (наряду с кабельными) при осуществлении как морских, так и сухопутных проектов мониторинга резервуара, контроля распространения наведенной трещиноватости при гидроразрывах пласта. Скорейшее признание заказчиками – нефтегазовыми компаниями – преимуществ использования бескабельных систем приведет к новому качественному и количественному рывку в развитии индустрии сейсморазведки и достижение этой цели является общей задачей контракторов и производителей оборудования.

Литература

Казанин Г.С.,Нечхаев С.А.,Щедров В.А., Зимовский А.В. – МНОГОКОМПОНЕНТНЫЕ МОРСКИЕ СЕЙСМИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ НА АРКТИЧЕСКОМ ШЕЛЬФЕ НА БАЗЕ ТЕХНОЛОГИИ GEOSPACE. Разведка и охрана недр 2014б № 4 с.40 – 44

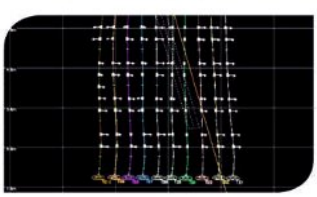
Технологии, на которые вы можете положиться. Даже в Арктике.

При работе в суровых условиях важна надежность. Поэтому на судах, работающих в Арктике, используют проверенные технологии ION.

DigiBIRD II® и DigiFIN®
Позиционирование

DigiSTREAMER™
Регистрация данных

Orca®
Контроль и управление



Технологии морской сейсморазведки компании ION каждый день доказывают свою надежность даже в самых суровых условиях. Многие суда используют технологии ION для выполнения своих задач безопасно, эффективно и с максимальным качеством. Чтобы узнать больше, посетите iongeo.ru

НАПРАВЛЕНИЯ ДЕЯТЕЛЬНОСТИ

Нетипичные коллекторы

→ **Регионы с суровыми климатическими условиями**

Разрезы со сложным геологическим строением

Изучение осадочных бассейнов

Эксплуатация месторождений

ion | MARINE IMAGING SYSTEMS

Понимание ледовой обстановки — залог успешной работы в Арктике

С. Камерон (S. Cameron), ION Geophysical

Снижение запасов на известных месторождениях по всему миру, растущий спрос на нефть и таяние ледников привело к значительному росту объема геологоразведочных работ в Арктике. По оценкам Геологической службы США, неразведанные запасы углеводородов на территории Арктики составляют 90 млрд баррелей нефти и 1669 трлн куб. футов газа — это четверть всех мировых неразведанных запасов нефти и газа, которые относятся к категории извлекаемых запасов. По мнению российских исследователей, запасы УВ в Арктике сопоставимы с запасами в Персидском заливе или Западной Сибири. Учитывая перспективность направления, международные нефтегазовые компании и правительства стран мира предпринимают новые попытки освоения Арктики, которые, однако, сопряжены с решением сложных технических и экологических задач. Суровые климатические условия и ледовая обстановка зачастую вынуждают сокращать дорогостоящие арктические проекты. Например, недавнее изменение ледовых условий отрезало доступ к нескольким буровым платформам, а на другом месторождении бурение пришлось остановить уже через сутки после начала, из-за огромной льдины, дрейфующей в сторону платформы.

Особенности навигации в ледовых условиях

Сложные ледовые условия ограничивают полевой сезон в Арктике до нескольких месяцев. Чтобы увеличить полевой сезон и оптимизировать ледовую стратегию аналитики и ледовые специалисты на сейсмических судах, буровых платформах и береговых объектах должны отслеживать и прогнозировать перемещение дрейфующих льдов и айсбергов. При опасном повышении концентрации льдов специалисты должны иметь возможность принимать обоснованные решения для обеспечения безопасности персонала, оборудования и окружающей среды.

Исторически, в задачи наблюдателей ледовых условий входило визуальное наблюдение за ледовой обстановкой с мостика и запись результатов наблюдений в специальный журнал. Однако для повышения достоверности наблюдений и прогнозирования направления движения льдов необходима дополнительная информация, такая как оперативные показания радара, спутниковые снимки, прогноз погоды, а также навигационные карты и карты ледовых полей. В прошлом специалисты по изучению ледовой обстановки печатали отчеты, карты и снимки на бумажных носителях для последующей интерпретации. Этот сложный процесс выполнялся в основном вручную, а результаты интерпретации зависели от опыта специалистов.

Позднее появились упрощенные программные приложения для ледовой навигации, позволяющие аналитикам выводить на единый дисплей электронные карты ледовых полей, спутниковые снимки и замеры радаров, правда, в ограниченном объеме. Неплохо для начала, но специалистам по-прежнему приходилось загружать файлы из различных источников через FTP, вручную проверять качество данных и своевременно анализировать. Некоторые данные не имели временной маркировки или геопривязки, что делало невозможным

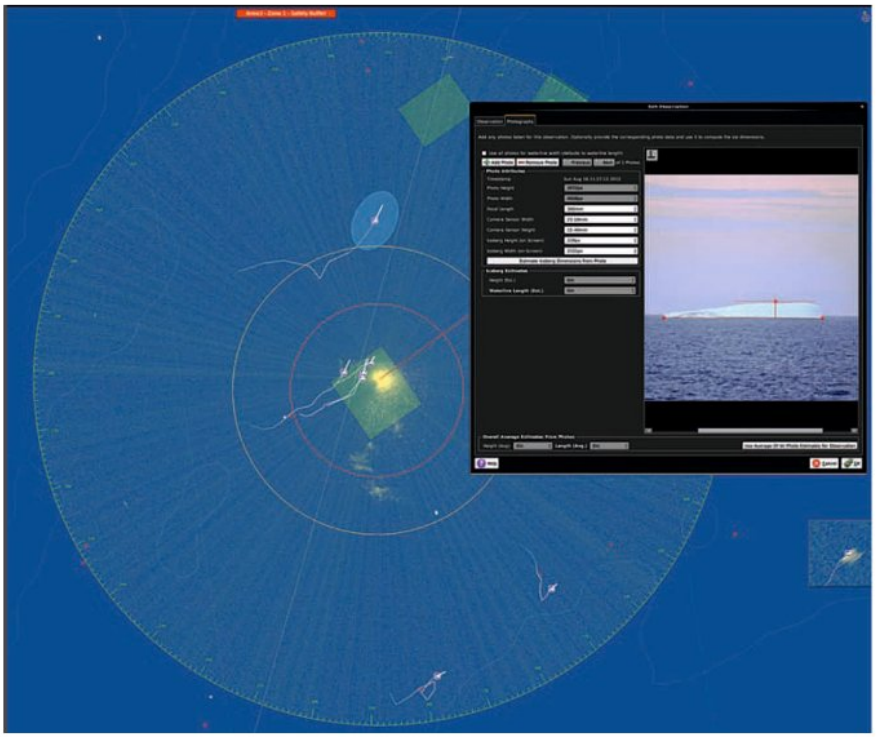


Рис. 1. Система предупреждения о ледовых угрозах подходит для различных производственных сценариев. Изображение: ION.

комплексный анализ с корреляцией всех карт и снимков. Более того, такие данные, как позиционирование судна, погодные условия, гидрометеорологические условия, карты течений, направления ветров, температура воды и другие, не могли быть загружены в программу.

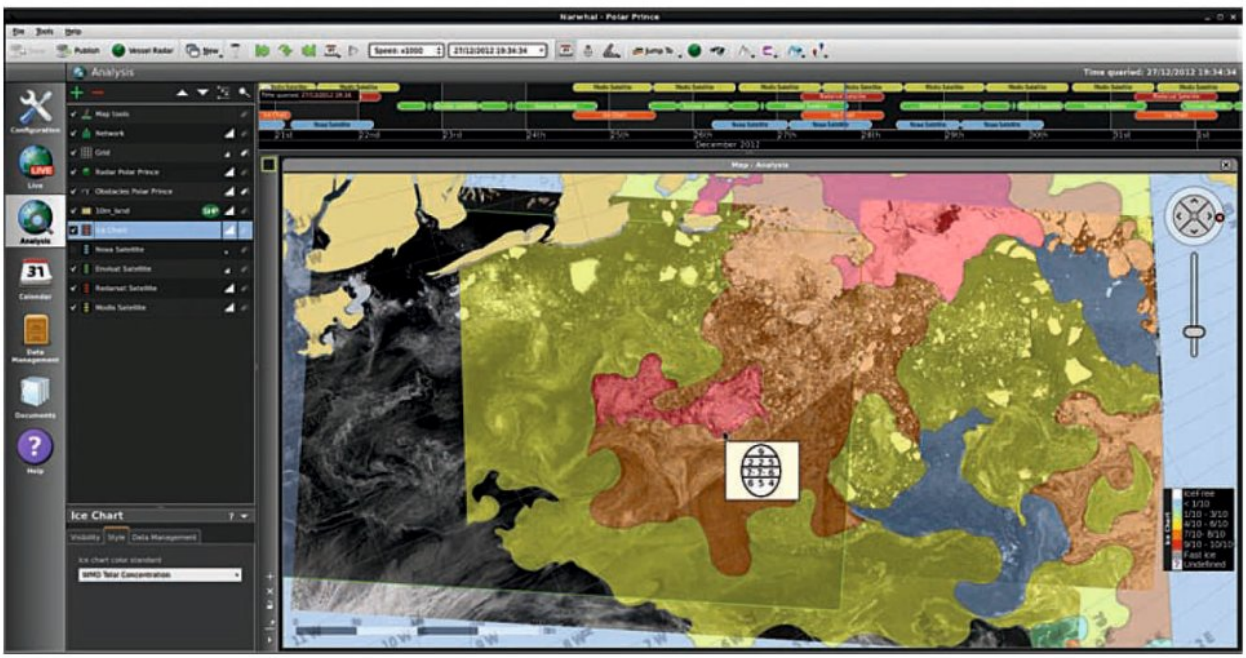
Ранняя технология ледовой навигации стала широко применяться при арктических операциях, однако из-за отсутствия автоматизации объединение различных данных оставалось сложной задачей, занимающей много времени. По словам капитана Норма Томаса из береговой охраны Канады: «Нельзя полагаться только на систему контроля ледовой обстановки, визуальные наблюдения по-прежнему необходимы».

Современное интегрированное решение для контроля ледовой обстановки

Корпорация ION Geophysical работает в Арктике с 2006 г., реализовав за 8 полевых сезонов 15 проектов и выполнив регистрацию 65 000 км сейсмических данных в ледовых условиях и более 30 000 км подо льдом. Ледовые специалисты компании были недовольны стандартными системами контроля ледовой обстановки, которые не позволяли объединять и визуализировать важнейшие ледовые характеристики, необходимые для успешного производства работ.

Для решения этой задачи компания Concept Systems, входящая в корпорацию ION, разработала новую комплексную систему контроля ледовой обстановки Narwhal™, о выпуске которой было объявлено в сентябре 2013 г.

Система Narwhal располагает средствами визуализации, анализа, отслеживания, мониторинга, прогнозирования и снижения рисков и предназначена для производства сейсморазведочных и буровых работ в арктических условиях. Это современная ГИС-ориентированная система, которая автоматически загружает данные для анализа ледовой обстановки из базы данных корпорации ION, используя канал спутниковой связи. Система загружает и структурирует каждый информационный блок, присва-



▲ *Рис. 2. Визуализация и анализ: интеграция спутниковых снимков, карт ледовых полей и другой информации. Изображение: ION.*

ивая ему временную метку и геопривязку. Ледовые аналитики и наблюдатели имеют возможность быстро и просто настроить неограниченное число слоев ГИС. Программа позволяет отображать на одном дисплее карты ледовых полей, спутниковые снимки, замеры радаров, прогнозы погоды, климатические и прочие данные, записи журнала наблюдений ледовой обстановки, а также накладывать на эти данные схему производства работ.

Новые уникальные возможности системы включают распределение и визуализацию информации на всех судах флотилии, автоматическую систему предупреждения о ледовых угрозах, динамическое моделирование курса судна и дрейфа льдов (за прошедшие и будущие периоды) и комплексный аудиторский анализ по окончании полевого сезона.

Полевые испытания и результаты 2013 года

Полевые испытания системы были выполнены при проводке сейсморазведочного судна ледового класса «Polar Prince» через Северо-Западный проход летом 2013 г. Когда система начала автоматически загружать карты ледовых полей из базы Службы ледовой разведки Канады, ледовые специалисты активировали инструмент для анализа ледопроходимости, входящий в состав комплекса Narwhal.

Данный инструмент позволил аналитикам сопоставить ледовый класс судна с ледовыми условиями и определить зоны, непригодные для навигации. Комплекс рассчитал, что судно не сможет пройти через залив Королевы Мод. На основе этой информации капитан судна принял решение стать на якорь и продолжить плавание через неделю, когда ледовые условия изменятся.

«В отсутствие комплекса Narwhal, — заявил впоследствии капитан, — нам бы пришлось увеличить тяговое усилие, чтобы пробиться сквозь льды, что повысило бы расход топлива. При этом масса судна (и инерция) снизилась бы, что привело бы к еще большему расходу топлива и увеличению общих расходов».

В это время в другом районе Арктики — в море Баффина на западном побережье Гренландии — проводились инженерно-технические изыскания с целью определения площадок для бурения скважин. Международная нефтедобывающая компания, которая на протяжении нескольких лет использовала стандартные системы ледовой навигации, решила опробовать систему Narwhal в действии.

При проведении работ ледовые аналитики использовали данные из более чем 20 источников. Дополнительно в систему вручную вносились данные визуальных наблюдений за небольшими ледовыми блоками, которые не были видны на радаре из-за малых размеров. Регистрируя координаты, скорость и направление движения ледовых блоков, специалисты использовали инструменты динамического моделирования системы Narwhal для прогнозирования перемещения льдин в ближайшие дни. Благодаря системе предупреждения о ледовых угрозах персонал, работающий в опасных зонах, мог своевременно изменить курс движения судов, что также позволило избежать повреждения дорогостоящего оборудования.

Хотя комплекс Narwhal изначально использовался как вспомогательная система контроля ледовой обстановки, он очень быстро стал основным инструментом для принятия производственных решений в ежедневной работе.

«Система Narwhal обеспечивает интеграцию разнородных данных, — заявил специалист по гидрометеорологии компании-заказчика, — и позволяет анализировать исторические данные, а также эффективно обмениваться текущей информацией о ледовой обстановке. Вследствие высокой автоматизации процессов система Narwhal на 25% сокращает время, необходимое на передачу и обработку данных, что дает аналитикам больше времени на визуальные наблюдения и взаимодействие с экипажем судна».

По мере повышения производственной активности в арктических регионах потребность нефтегазодобывающих и сервисных компаний в интегрированных технических решениях для контроля ледовой обстановки будет только увеличиваться. В условиях короткого полевого сезона такие решения обеспечивают повышение безопасности и производительности, а также соблюдение требований по охране окружающей среды при производстве геологоразведочных работ и бурении скважин.

Впервые статья была опубликована в журнале «Offshore Engineer» в декабре 2013 года.

Подробнее об авторе

Скотт Камерон
(Scott Cameron)

Менеджер по разработке и продвижению системы Narwhal, ION Concept Systems.

Взгляд геофизика на вибросейсмические излучатели, разработанные в ЗАО «ГЕОСВИП», в аспекте их геологической эффективности

Кострыгин Ю.П., ООО «Новоросморгео», г. Новороссийск

В настоящее время в Российской Федерации разработкой, организацией производства и внедрением вибросейсмических комплексов в практику сейсморазведочных работ занимается компания ЗАО «ГЕОСВИП». В течение относительно короткого времени ЗАО «ГЕОСВИП» разработало, изготовило и передало в геофизические организации целый ряд вибросейсмических излучателей, которые достаточно широко применяются практически во всех нефтегазоносных провинциях России.

Ряд сейсмических вибраторов с использованием колёсных транспортных баз, разработанный ЗАО «ГЕОСВИП», включает в себя следующие типы излучателей: СВ-14/150, СВ-20/150 МТК, СВ-27/150К, СВ-27/150 – 362 и СВ-30/150Б. Технические характеристики указанных излучателей приведены в таблице 1.

Наименьшей массой, равной 16800 кг, характеризуется СВ-14/150, развивающий номинальное динамическое усилие на грунт 200,8 кН. Вибратор смонтирован на шасси грузового автомобиля Урал-4320-41 с колёсной формулой 6×6, предназначенного для использования в вооружённых силах (см. рис. 1). В связи с повышенной проходимостью он достаточно успешно применяется в горных условиях. Так, в течение последних лет значительные объёмы сейсмических исследований с использованием вибратора СВ-14/150 были выполнены в пределах Терско-Сунженской зоны Восточного Предкавказья, в районах Сунженского и Терского хребтов. При этом, в отличие от многих других вибраторов, СВ-14/150, как правило, позволял отрабатывать

▲ *Рис. 1. Вибратор СВ-14/150 в районе Сунженского хребта (Республика Ингушетия)*

профили, расположенные практически ортогонально простиранию хребтов.

На рис. 2 приведён временной разрез, полученный ОАО «Ставропольнефтегеофизика» по заказу ОАО «Ингнефть» с использованием вибраторов СВ-14/150 по профилю, пересекающему Сунженский хребет ортогонально его простиранию. Вследствие того, что сейсмический профиль в данном случае был проложен практически перпендикулярно линии простирания хребта, исполнителям удалось достаточно точно определить местоположение свода перспективной на нефть и газ антиклинальной структуры в верхнемеловых отложениях. Такой результат стал возможен исключительно благодаря высокой проходимости вибросейсмического излучателя.

Имея относительно малые габариты, вибратор СВ-14/150 весьма успешно применяется также, например, при вибросейсмических наблюдениях на рисовых чеках Кубани, где профили располагаются, в основном, вдоль узких дамб, в населённых пунктах, на узких

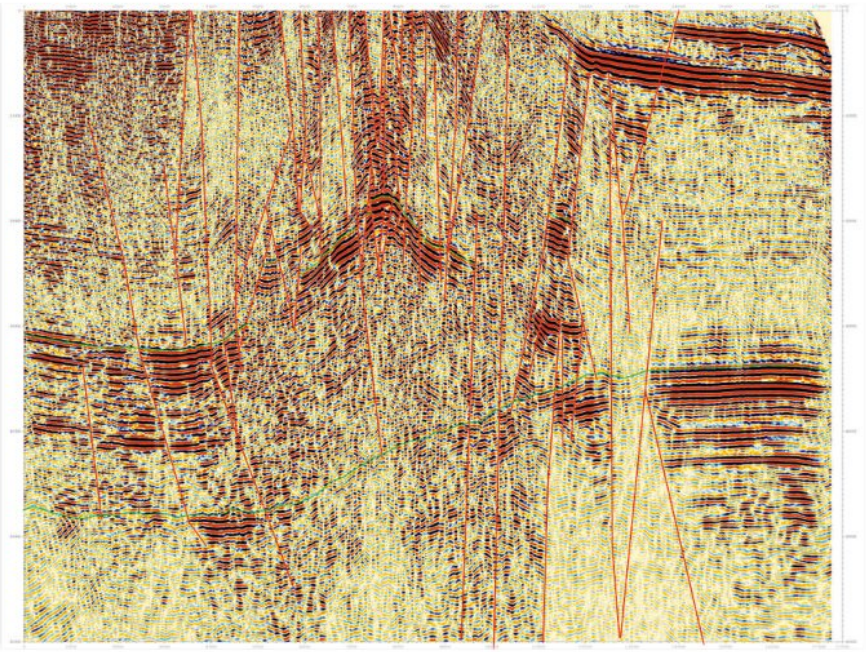


Рис. 2. Временной разрез, полученный ОАО «Ставропольнефтегеофизика» с использованием вибраторов СВ-14/150 по профилю, пересекающему Сунженский хребет ортогонально его простиранию

лесных просеках, где вырубки деревьев и кустарников запрещены и т.д.

Широкое применение при проведении сейсморазведочных работ получил вибратор СВ-20/150 МТК, развивающий номинальное динамическое усилие на грунт, равное 201,7 кН (см. рис. 3). Так, значительные объёмы сейсмических исследований 3D с использованием вибраторов СВ-20/150 МТК были выполнены компанией ООО «Екатеринодар Бизнес» по заказу СП ООО «GISSARNEFT-GAZ» в рифогенных зонах Бешкентского прогиба, на площадях, расположенных на территории Узбекистана.

В пределах исследуемых площадей залежи нефти и газа в основном связаны с карбонатными отложениями келловей-оксфорда (Т6). При этом покрышка залежей углеводородов представлена соляно-ангидритовой толщей кимеридж-титона (Т4, Т5). В конкретных условиях высокую эффективность поиска ловушек нефти и газа можно обеспечить

Табл. 1. Технические характеристики вибраторов, разработанных ЗАО «ГЕОСВИП» на колёсных транспортных базах

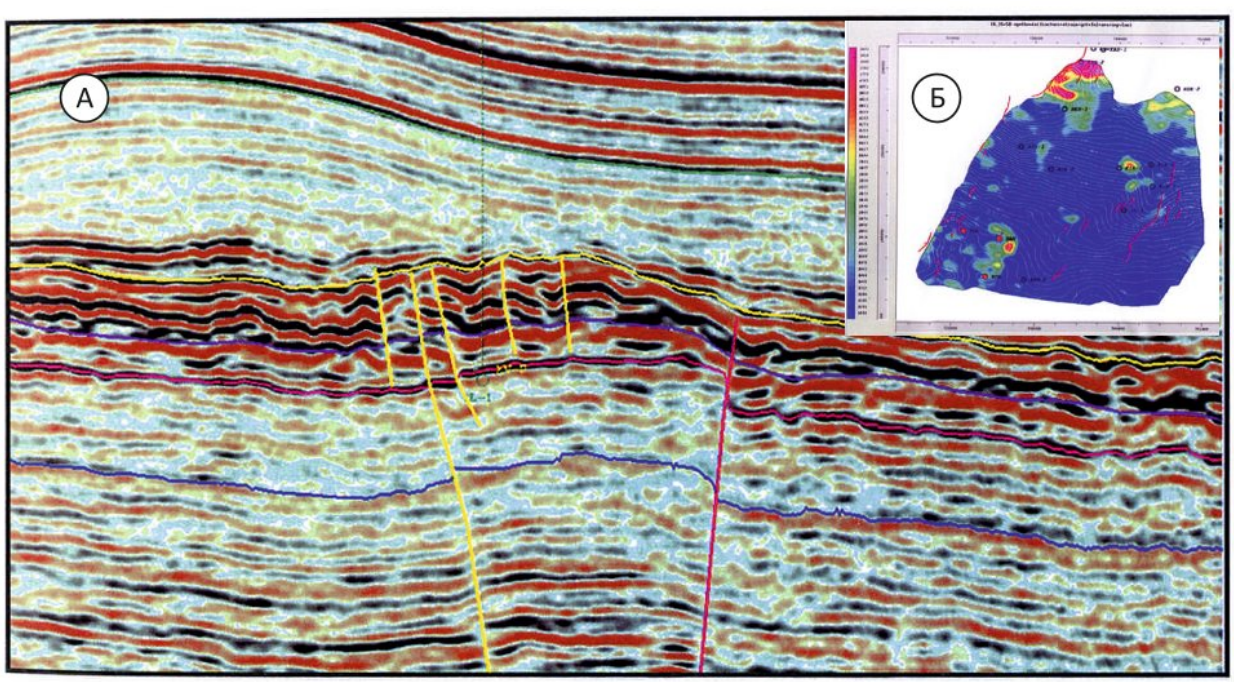
Тип вибратора	Шасси	Толкающее усилие, кН	Реактивная масса, кг	Усилие прижима, кН	Макс. смещение реактивной массы, мм	Масса опорной плиты, кг	Площадь опорной плиты, м^2	Полная масса, кг
СВ-14/150 (SV-14/150 Unit)	Урал 4320-41 6×6	140,1	1735	150,0	90	1165	1,6	16800
СВ-20/150МТК (SV-20/150MTK Unit)	КРАЗ-6322 6×6	200,8	2760	200,8	65	1600	1,94	21000
СВ-27/150К (SV-27/150K Unit)	КамАЗ-63501 8×8	239,4	3436	239,4	83	2134	2,3	27200
СВ-27/150-362	МОАЗ-6910 4×4	300,6	3578	270,0	88	2257	2,68	31000
СВ-30/150Б (SV-30/150B Unit)	БАГГИ 4×4	300,6	3798	284,4	88	1936	2,5	32060

▲ *Рис. 3. Вибратор СВ-20/150 МТК*

лишь в результате совместного анализа структурных факторов и динамических атрибутов сейсмической записи. Вместе с тем, очевидно, что такой подход к геологической интерпретации материалов может обеспечить успех лишь в том случае, если применяемый источник сейсмических колебаний позволяет сформировать качественную динамику целевых отражений.

На рис. 4 представлен типичный временной разрез, полученный в условиях Бешкентского прогиба, в пределах блока Гасанжа-Даликун с применением нелинейных развёрток с фиксированным градиентом 0,15 дБ/Гц, обеспечивающим для управляющего сигнала четырёхкратное увеличение веса высокочастотных составляющих в полосе частот развёртки 10-90 Гц. Здесь же приведены материалы комплексного атрибутного анализа сейсмических записей, выполненного путём объединения информации по атрибуту затухания высоких частот FUL-FRO, по атрибуту энергии низких частот PRT-ENG и по флюйд-фактору с использованием способа EPS™.

Из приведённого рисунка следует, что в условиях Бешкентского прогиба использованная технология и динамические характеристики вибратора СВ-20/150 МТК обеспечили весьма качественное прослеживание отражений, соответствующих перспективным на нефть и газ карбонатным отложениям келловей-оксфорда (Т6), а также отражений, соответствующих соляно-ангидритовой толще кимеридж-титона, экранирующей залежи углеводородов (Т4, Т5). Более того, проведённый комплексный атрибутный анализ показал высокую вероятность наличия залежи углево-



▲ *Рис. 4. Временной разрез (а) и карта комплексного атрибутного анализа (б), полученные в пределах блока Гасанжа-Даликун, с использованием вибраторов СВ-20/150 МТК*

дородов в отложениях келловей-оксфорда на севере исследуемого полигона (выделена красным цветом). В дальнейшем разведочная скважина, пробуренная в пределах контура предполагаемой залежи, подтвердила наличие весьма интенсивных газопроявлений из отложений келловей-оксфорда.

По мнению ведущих геологов и геофизиков Узбекистана столь информативный сейсмический материал в рифогенных зонах Бешкентского прогиба был получен впервые. Таким образом, очевидно, что вибратор СВ-20/150 МТК может обеспечивать качество сейсмических записей, в полной мере соответствующее современным требованиям.

С учётом мировых тенденций развития вибросейсмической техники, включающих, в частности, создание вибраторов, развивающих всё более высокие динамические усилия на грунт, в России были разработаны и нашли широкое применение вибросейсмические излучатели СВ-27/150К и СВ-27/150 – 362, обеспечивающие номинальное силовое воздействие, равное соответственно 239,4 и 300,6 кН. Установка СВ-27/150К показана на рис. 5.

Применение более мощных излучателей позволяет не только повысить глубинность сейсмической разведки, но и улучшить динамику возбуждаемых колебаний. Действительно, улучшение динамических характеристик вибросейсмических записей представляется возможным путём использования комбинированных или нелинейных развёрток. Вместе с тем, в отличие от ЛЧМ-сигналов такие развёртки в большей степени рассогласованы с совокупной частотной характеристикой среды и системы вибратор-грунт. Поэтому в одинаковых условиях глубинность сейсмических исследований при работе с

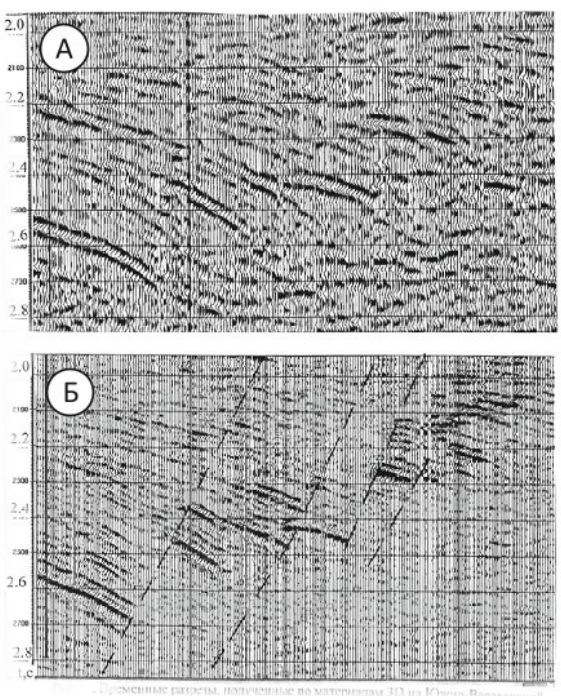
▲ *Рис. 5. Вибратор СВ-27/150К*

комбинированными или нелинейными развёртками всегда уступает глубинности исследований в случае применения ЛЧМ-сигналов. Использование же для возбуждения колебаний излучателей повышенной мощности, позволяет компенсировать указанный недостаток и в связи с этим более эффективно применять комбинированные и нелинейные развёртки с целью улучшения динамики регистрируемых колебаний.

Так, например, использование в условиях Западно-Кубанского прогиба вибраторов СВ-27/150К и возбуждение комбинированных сигналов, состоящих из трёх сегментов с частотными диапазонами: ΔF_1 = 8 - 90 Гц, ΔF_2 = 34 - 90 Гц, ΔF_3 = 43 - 90 Гц, позволило существенно повысить эффективность исследований целевых караган-чокракских отложениях (t_0 = 2 – 2.7 с). На рис. 6 сопоставлены временные разрезы, соответствующие одноимённым сечениям кубов 3D, отработанных на Южно-Варавенской площади ОАО «Краснодарнефтегеофизика» (а) и ОАО «Саратовнефтегеофизика» (б) по заказу ОАО «Роснефть - Краснодарнефтегаз». В первом случае (а) колебания возбуждались вибраторами СВ10/180 с применением ЛЧМ-развёрток, а во втором случае (б) в качестве зондирующих сигналов использовались комбинированные развёртки, возбуждаемые вибраторами СВ-27/150К.

При сопоставлении представленных разрезов наибольший геологический интерес представлял вопрос о достоверности картирования разломов в карагачокракских отложениях. Из рис. 6 видно, что использование комбинированных развёрток в конкретных условиях позволило существенно повысить достоверность выделения разломов, расширить спектр целевых отражений и в целом улучшить качество разрезов. Такой результат был в первую очередь связан с применением вибратора СВ-27/150К, позволяющего формировать высокоамплитудные отражения, характеризующиеся качественной динамикой колебаний.

Дальнейшее развитие направления по разработке более мощных излучателей привело к созданию вибратора СВ-30/150Б («Русич»), развивающего номинальное силовое воздействие на грунт, равное 300,6 кН [1]. Вибросейсмическая установка СВ-30/150Б показана на рис. 7.



▲ *Рис. 6. Временные разрезы, соответствующие одноимённым сечениям куба 3D: а – применялись вибраторы СВ 10/180, ЛЧМ-развёртка; б – вибраторы СВ-27/150К, комбинированная развёртка*

▲ *Рис. 7. Вибратор СВ-30/150Б («Русич»)*

Вибратор смонтирован на самоходном гидрофицированном шасси типа «багги» с шарнирно-сочленённой рамой. При этом угол поворота передней полурамы относительно задней равен ±32º, что обеспечивает малый радиус поворота шасси и тем самым высокую манёвренность. Более того, универсальный шарнир позволяет полурамам наклоняться относительно друг друга и в вертикальной плоскости на угол до ±16º. Это разгружает раму при движении источника по пересечённой местности и создаёт серьёзные преимущества при проведении сейсморазведочных работ в горных условиях.

По всем основным техническим параметрам вибратор СВ-30/150Б не уступает, а по ряду параметров и превосходит лучшие зарубежные аналоги [1]. К наиболее значимым преимуществам данного излучателя можно отнести следующее:

- Габариты установки при использовании шин размером 23,5-25 позволяют свободно перемещаться по дорогам общего пользования без получения специальных разрешений.

- Максимальная скорость перемещения вибратора СВ-30/150Б существенно превосходит значения аналогичного параметра для лучших зарубежных вибросейсмических установок. Так, если для американского излучателя AHV-IVTM(PLS-362) и французского источника NOMAD-65 максимальная скорость движения равна соответственно 26 и 28

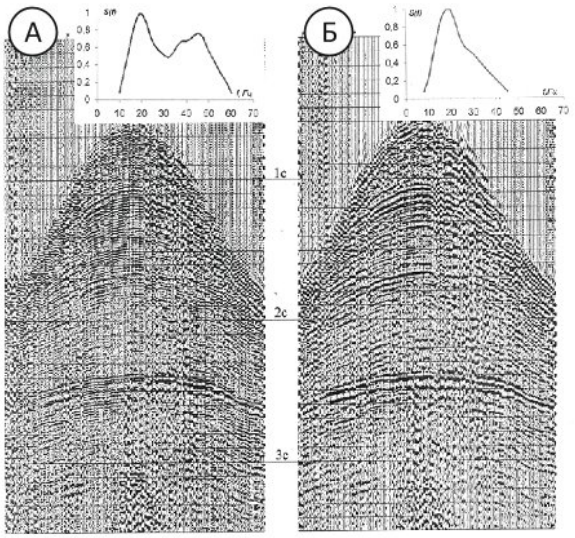
▲ *Рис. 8. Арктический вибратор СВС24/ /РС27 (SVS24/ PC27 Unit)*

км/ч, то для СВ-30/150Б она равна 38 км/ч.

- Нижняя частота возбуждаемых колебаний Fmin для рабочего диапазона вибратора СВ-30/150Б равна 5 Гц, в то время как, например, для широко используемого французского источника NOMAD-65 F_{min} = 7 Гц [1]. С учётом современных тенденций развития вибросейсмических технологий такое преимущество является достаточно существенным и в совокупности с более высоким номинальным силовым динамическим воздействием на грунт позволяет формировать сигналы с более качественной динамикой колебаний. При этом очевидно, что при таких параметрах вибратор СВ-30/150Б способен обеспечить более высокую эффективность применения технологии «свип максимального смещения», позволяющей возбуждать вибросейсмические колебания, начиная с частот 1-3 Гц [2].

Помимо сейсмических вибраторов, использующих колёсные транспортные базы, ЗАО «ГЕОСВИП» разработало два типа излучателей на гусеничных снегоболотоходных шасси: СВС24/РС27 (SVS24/PC27 Unit) и СВ-5/300В. Технические характеристики указанных излучателей приведены в таблице 2.

Излучатель СВС24/РС27 относится к



▲ *Рис. 9. Коррелограммы и соответствующие им амплитудные спектры (Δt=2,3-2,6 с), полученные на Западно-Губкинской площади с использованием комбинированных (а) и ЛЧМ-сигналов (б)*

классу арктических вибраторов (см. рис. 8), и начало его производства явилось достаточно значимым событием для российских геофизиков, поскольку большая часть месторождений нефти и газа в России располагается на Крайнем Севере. Одной из первых организаций, приступивших к эксплуатации этого источника, было ЗАО «Сибнефтегазгеофизика», проводившая сейсморазведочные работы в Губкинском нефтегазоносном районе. И уже на начальной стадии эксплуатации вибраторов СВС24/РС27 было показано, что у геофизиков при выполнении работ в условиях Крайнего Севера появились новые серьёзные возможности для повышения эффективности сейсмических исследований. Вибраторы отличались повышенной проходимостью и надёжностью, что позволяло организовывать двухсменную работу и эксплуатировать излучатели практически круглые сутки.

В качестве зондирующих сигналов в основном применялись комбинированные развёртки. Использованная техноло-

Тип вибратора	Шасси	Толкающее усилие, кН	Реактивная масса, кг	Усилие прижима, кН	Макс. смещение реактивной массы, мм	Масса опорной плиты, кг	Площадь опорной плиты, $м^2$	Полная масса, кг
СВС24/ РС27 (SVS24/ PC27 Unit)	Гусеничное РС27	264,8	3798	264,8	88	1940	2,50	29500
СВ-5/300В	Гусеничное Morooka MST-800VD	50	800	53,9	50	500	0,5	9300

▲ *Табл. 2. Технические характеристики вибраторов, разработанных ЗАО «ГЕОСВИП» на гусеничных снегоболотоходных шасси*

гия и динамические характеристики возбудителя вибраций источника СВС24/РС27 позволяли в условиях Губкинского нефтегазоносного района получать исходные сейсмические записи с весьма качественной динамикой целевых отражений баженовской группы (см. рис.9). Вследствие этого на окончательных разрезах целевые отражения характеризовались относительно высокой спектральной плотностью в области 70-90 Гц, что в свою очередь способствовало качественному выполнению инверсии акустического импеданса и комплексной оценке нефтегазоносности отложений.

Высокочастотный вибратор СВ-5/300В, являющийся последней разработкой ЗАО «ГЕОСВИП», занял нишу вибросейсмических излучателей, предназначенных для детального исследования геологических разрезов на глубину, по-видимому, не превышающую ≈ 1–1,5 км. Источник может быть использован для поиска нефти и газа, для изучения угольных и рудных полей, а также для инженерных изысканий в городских условиях с повышенным уровнем некогерентных помех. Ранее эта ниша фактически была свободной.

Вибратор смонтирован на гусеничном шасси Morooka MST-800VD (Япония), позволяющем преодолевать подъёмы до ≈ 30º (см. рис. 10). Рабочий диапазон частот излучателя соответствует интервалу 5-450 Гц. Источник обладает уникальными возможностями и поэтому, безусловно, представляет значительный, как научный, так и практический интерес для геофизиков. Вместе с тем, очевидно, что данный вибратор будет по настоящему востребован лишь после того, как будут сформулированы основные параметры методики сейсмических наблюдений и доказана высокая геологическая эффективность при его использовании.

К настоящему времени предприятием ОП «Спецгеофизика» получены сейсмические разрезы с применением излучателя СВ-5/300В [3]. Один из таких глубинных разрезов приведён на рис. 11. Сейсмические исследования в данном случае были проведены с целью изучения складчатой структуры рудовмещающих отложений.

Представленный разрез характеризуется достаточно высокой информатив-

▲ *Рис. 10. Высокочастотный вибратор СВ-5/300В*

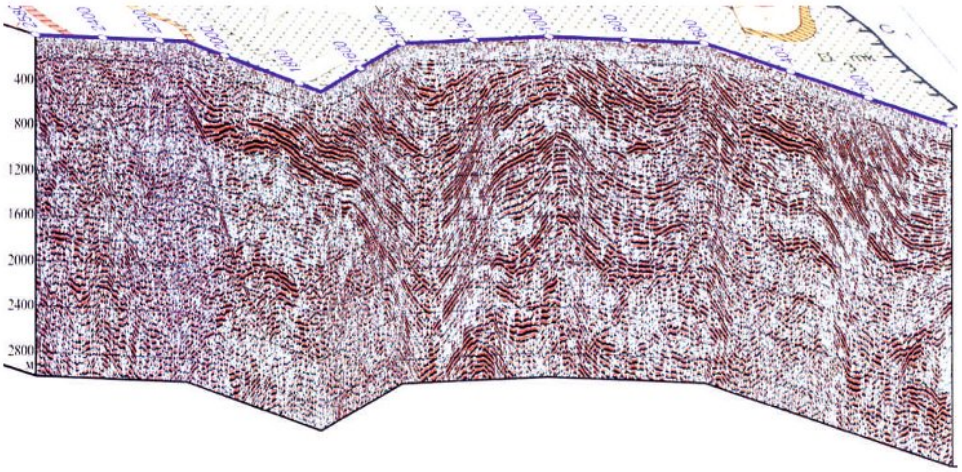


Рис.11. Глубинный сейсмический разрез, полученный ОП «Спецгеофизика» вдоль криволинейного профиля с применением высокочастотного вибратора СВ-5/300В с целью изучения складчатой структуры рудовмещающих отложений

ностью, однако спектральный состав колебаний на разрезе практически не отличается от спектрального состава колебаний, возбуждаемых обычными (не высокочастотными) вибраторами. И это может породить у геофизиков некоторые сомнения в необходимости приобретения таких источников.

Физические причины относительно низкочастотного состава колебаний на приведённом разрезе в значительной степени связаны с тем, что при проведении сейсморазведочных работ в основном применяются датчики скорости смещения, и уже, поэтому, вследствие физического интегрирования сигналов ускорения в колебательных системах сейсмоприёмников, равномерные амплитудные спектры формируемых силовых воздействий преобразуются в более низкочастотные спектры скорости смещения в соответствии с соотношением 1/f, где f –частота колебаний. Т.е. если вибратор возбуждает ЛЧМ-сигнал с частотным диапазоном развёртки, например, 20-400 Гц и форс-сигнал характеризуется в полосе частот развёртки равномерной спектральной плотностью, то по сравнению с 20-герцовой гармоникой вес 100-герцовой гармоники уменьшится в 5 раз, 200-герцовой гармоники в 10 раз и т.д. Дополнительное ослабление высокочастотных составляющих, как известно, связано с частотно зависимым поглощением упругих колебаний в геологической среде.

Таким образом, возможности обеспечения качественной динамики отражений даже при использовании высокочастотного вибратора СВ-5/300В зависят не только от ширины частотного диапазона развёртки, но и ещё в большей степени от типа развёртки. С целью повышения эффективности такого излучателя целесообразно применение высокочастотных нелинейных и комбинированных развёрток либо замена индукционно-динамических сейсмоприёмников на акселерометры.

Помимо разработки вибраторов на колёсных и гусеничных снегоболотоходных шасси специалисты ЗАО «Геосвип» не остались в стороне и от создания универсального вибросейсмического излучателя, способного работать в разных регионах и разных климатических условиях. На предприятии был разработан вибросейсмический источник СВ-27/150БКГ, смонтированный на колесно-гусеничном багги 8×8.

На колёсах такой источник способен перемещаться по плотному грунту и дорогам со скоростью до 45 км/ч. При этом специального разрешения для движения излучателя по дорогам не требуется (см. рис.12, а). Для передвиже-

▲ *Рис. 12. Универсальный вибросейсмический излучатель СВ-27/150БКГ:*
а – вариант перемещения по твёрдому грунту и дорогам;
б - вариант передвижения по болотистой местности, зыбучим пескам, или по глубокому снегу

ния по болотистой местности, зыбучим пескам, или по глубокому снегу, на колесные пары одеваются четыре гусеницы. В таком положении вибратор может перемещаться со скоростью до 20 км/ч (рис. 12, б).

По основным техническим характеристикам возбудителя вибраций, а значит и по динамике возбуждаемых колебаний, СВ-27/150БКГ практически не отличается от вибраторов СВС24/ РС27 и СВ-30/150Б (см. таблицу 3)

Таким образом, в ЗАО «Геосвип» был создан ряд вибросейсмических излучателей с использованием транспортных баз, обеспечивающих эффективную работу во всём диапазоне природно-климатических, почвенных и горно-геологических условий. Динамические характеристики излучателей позволяют успешно решать самые сложные задачи, стоящие перед современной сейсморазведкой.

Весьма значительный научный и практический интерес для геофизиков представляет высокочастотный вибратор СВ-5/300В. Вместе с тем, очевидно, что данный вибратор будет по-настоящему востребован лишь после того, как будут сформулированы основные параметры методики сейсмических наблюдений и доказана высокая геологическая эффективность при его использовании.

Литература

1. Алелюхин Н.П., Насыбулин Е.Х., Оменцов Ф.И., Асан-Джалалов О.А., Гридин П.А., 2007, Источник сейсмических сигналов СВ-30/150Б. Приборы и системы разведочной геофизики, 2 (20), 18 – 20.

2. Даниэль Букар, Жиль Оливри, Дени Мужено, 2013, Низкочастотные свипы с вибраторами Nomad-65, электроникой VE464 и программой «CheckSweep». Приборы и системы разведочной геофизики, 3, 33 – 42.

3. Сулейманов А.К., Алелюхин Н.П., 2010, Сейсморазведка на отражённых волнах с использованием высокочастотного вибратора СВ-5/300В. Приборы и системы разведочной геофизики, 01.

▼ *Табл. 3. Технические характеристики универсального вибратора СВ-27/150БКГ*

Шасси	Толкающее усилие, кН	Реактивная масса, кг	Усилие прижима, кН	Макс. смещение реактивной массы, мм	Масса опорной плиты, кг	Площадь опорной плиты, м^2	Полная масса, кг
Колесно-гусеничное БАГГИ 8×8	275,0	3798	275,0	88	1744	2,50	28000

Юбилей Николая Петровича Алелюхина

Среди славных имен в истории отечественного геофизического приборостроения, несомненно, видное место принадлежит Николаю Петровичу Алелюхину. 14 мая 2014 г. ему исполнилось 65 лет. Кто-то скажет: «Да не может быть!». Ну что ж. Мы тоже сначала не поверили, но факт остается фактом.

Родился Николай Петрович 14 мая 1949 г. в г. Кимры Тверской (Калининской) области. Окончил Всесоюзный заочный машиностроительный институт (1972 г.) и Московский институт Управлении(1979 г.). В период (1976-1986 г.г.) работал начальником Центральной научно-исследовательской лаборатории, Центральной опытно-методической экспедиции треста «Союзгазгеофизика», управляющим трестом Центргеофизика. При его непосредственном участии в г.Кимры был создан отраслевой научно-производственный комплекс геофизического приборостроения. В 1986 г. Н.П.Алелюхин был приглашен в аппарат Миннефтепрома СССР на должность заместителя начальника Главнефтегеофизики Миннефтепрома СССР, где приобретенный им ранее опыт позволил ему принять активное участие в создании, управлении и обеспечении жизнедеятельности КБ, НИИ, опытных производств заводов, входящих в структуру Управления, а в последующем Ассоциации « НЕФТЕГАЗГЕО-ФИЗИКА». В это период Н.П.Алелюхин принимал активное участие в создании геофизических баз в Западной и Восточной Сибири.

В 1998 г. Н.П.Алелюхин становится первым заместителем генерального директора, а с 2003 г. – генеральным директором ЗАО «ГЕОСВИП», являющимся единственным предприятием в России, занимающимся разработкой и выпуском вибрационных источников сейсмических сигналов, активно используемых при выполнении сейсморазведочных работ при поиске нефтяных и газовых месторождений.

Н.П.Алелюхин имеет четыре изобретения. Он является Заслуженным работником нефтяной и газовой промышленности Российской Федерации, одним из авторов разработки и внедрения в производство лубрикаторной геофизической установки со станцией подачи густой смазки в систему герметизации (УГЛ-300 и УГЛ-14). Ряд его публикаций, касающихся производства источников сейсмических сигналов на различных транспортных базах и оценки их эффективности при проведении сейсморазведочных работ, несомненно явились новым словом в организации производства вибрационных источников возбуждения сейсмических сигналов и во многом способствовали организации успешной работы возглавляемого им предприятия.

Трудовой путь Н.П.Алелюхина отмечен по достоинству: он является Почетным работником газовой промышленности, Почетным нефтяником, Почетным разведчиком недр, Почетным работником топливно-энергетического комплекса РФ, награжден медалями ВДНХ, медалью им. Федынского Евро-Азиатского Геофизического общества. медалью им. Академика Ферсмана Российского геологического общества, орденом «За возрождение России. XXI век», является членом ЕАГО, EAGE, SEG.

Николай Петрович – красивый, обаятельный, открытый людям человек. Общение с ним всегда приятно.

Желаем нашему дорогому другу и коллеге долгих лет жизни, крепкого здоровья, трудового настроя, счастья в доме!

С Днем Рождения!

Список статей, опубликованных в журнале «Приборы и системы разведочной геофизики» в 2013 г.

R.Yibirin., A. Lacruz., J. Caldwell Сравнение результатов полевых испытаний геофонов при выполнении сейсморазведочных работ по методике 2D в Колумбии №1(43)\2013 стр. 60-64

Shawn L. Rice., Tim Dudley, Curt Schneider, Ray J. Pierce, Brian Horn, Scott Cameron, Robert Bloor,

Zheng-Zheng (Joe) Zhou Регистрация и обработка сейсмических данных в арктических условиях №4(46)\2013 стр. 83-95

Агафонов В.М., Криштоп В.Г., Егоров И.В. Сейсмические датчики на принципах молекулярно-электронного переноса в твердотельных и жидкостных микроструктурах №1(43)\2013 стр. 39-49

Алелюхин Н.П., Асан-Джалалов О.А., Ивашин В.В., Иванников Н.А. Развитие импульсных невзрывных сейсмоисточников. Источник «Волгарь-27» с индукционно-динамическим двигателем №3(45)\2013 стр. 54-61

Болотов А.А. Газодинамический источник сейсмических колебаний №3(45)\2013 стр. 44-48

Больбат В.М., Об оптимальных глубинах возбуждения сейсмических колебаний при использовании взрывного источника и атрибутивном анализе качества полевого материала №4(46)\2013 стр. 18-29

Брыксин И.В. Опыт регистрации и обработки наземных сейсмических данных, полученных в процессе производства гидравлического разрыва пласта №2(44)\2013 стр. 54-60

Брыксин И.В., Цвей Е.В. Устранение фазовых искажений, вызванных регистрирующей аппаратурой, на этапе обработки данных сейсморазведки №1(43)\2013 стр. 87-93

Ведерников Г.В., Максимов Л.А., Технология и опыт прогнозирования залежей УВ по характеристикам микросейсм №2(44)\2013 стр. 37-45

Ведерников Г.В., Методы пассивной сейсморазведки №2(44)\2013 стр. 30-36

Гафаров Р.М., Муртаев И.С., Лицкий В.П., Хакимов Р.Т., Сейсморазведочные работы МОГТ 3D с использованием бескабельной сейсморегистрирующей системы GSR №4(46)\2013 стр. 30-38

Горбачев С.В., Маев П.А., Егоров А.А. О позиционировании пунктов приема и возбуждения при проведении транзитных сейсморазведочных работ с донным оборудованием №3(45)\2013 стр. 73-81

Гужиков А.Ю., Геологическая информативность магнетизма керна и шлама осадочных пород, полученных при бурении разведочных скважин №4(46)\2013 стр. 51-61

Гуленко В.И., Рудаков А.В., Самсонов Е.А., Принципы построения групповых пневматических источников для морской сейсморазведки №3(45)\2013 стр. 62-71

Гурьев С.В, Лопухов Г.П., Юров А.А. Импульсный элекромагнитный источник «Геотон-15». Опыт практического применения №3(45)\2013 стр. 49-52

Даниэль Букар, Жиль Оливри, ДМужно Низкочастотные свипы с вибраторами Nomad-65, электроникой VE464 и программой «CheckSweep» №3(45)\2013 стр. 33-42

Детков В.А., Богдан В.А., Кашкин В.Б., Шайдуров Г.Я. О вибрационных помехах сейсмоприему от двигателей транспортных машин импульсных невзрывных источников №2(44)\2013 стр. 83-85

Емкужев А.С., Слонов Д.Н., Красных В.А., Калинин А.Ю. Опыт работ ОАО «Оренбургская геофизическая экспедиция» (ОАО «ОГЭ») с системой бескабельного сбора данных SCOUT (пр-ва ОАО «СКБ СП», Россия) в предгорных районах Республики Кабардино-Балкария №1(43)\2013 стр. 6-10

Жоунг Вей, Томас Ф. Филипс Комплексный анализ высокочастотной системы виброисточник-грунт №2(44)\2013 стр. 69-82

Жуков А.П., Колесов С.В., Использование сигналов с опорной плиты и инертной массы вибратора в методике вибросейсмических работ №4(46)\2013 стр. 62-70

Завьялов В.А. К вопросу использования одиночных сейсмоприемников в геофизических исследованиях МОВ ОГТ №2(44)\2013 стр. 86-92

Зайченко В.Ю., Последствия для геологической отрасли от вступления России во всемирную торговую организацию (ВТО) и организационно-методические меры по оценке их влияния на деятельность управляющих и хозяйствующих структур, а так же по минимизации ущерба от негативных явлений при геологическом изучении недр Российской Федерации №2(44)\2013 стр. 110-114

Зиновьев В.И. О новом производстве сейсмоприемников на предприятии ООО «Геоспейс Технолоджис Евразия» №1(43)\2013 стр. 54-59

Кострыгин Ю.П., Удалый М.Н., Исследование возможности и целесообразности применения кодоимпульсного метода для инженерной сейсморазведки №3(45)\2013 стр. 84-96

Крутов А.Л., Схинас С.Н., 310 км вдоль русла Нижней Тунгуски №4(46)\2013 стр. 79-82

Кузнецов И.М., Турлов П.А. MEMS акселерометр №1(43)\2013 стр. 27-33

Кузнецов И.М.. Буксируемая сейсмическая коса – это актуально! №1(43)\2013 стр. 11-18

Куколенко О.В., Тарасов Н.В., Гнатюк А.И., Селезнев В.А., Зуб Е.А., Чернышев В.В., Навроцкий А.О. Многокомпонентные установки сейсмоприемников и перспективы их применения №1(43)\2013 стр. 66-78

Лапин С.А., Крутов А.Л., Можно ли улучшить, удешевляя? Одиночные сейсмоприемники: возможности, перспективы №2(44)\2013 стр. 93-97

Лаптев В.В., Российский рынок геофизического сервиса 2010-2013 гг №4(46)\2013 стр. 103-114

Ларин С.В., Бучарский Б.В., Бондаренко Д.Н., Горячев В.В., Наземно-скважинные сейсмические технологии в инженерной геофизике №2(44)\2013 стр. 105-108

Луиза С. Дурхам, Узнайте ваши модули №2(44)\2013 стр. 99-103

Марченков А.Ю., Мишин А.В., Пастухов В.В., Семейкин Н.П., Трушков В.В. Малогабаритный Сейсмоприемник СПВ-3к №1(43)\2013 стр. 35-38

Орлов В.В., Бусыгин А.И., Панченко А.И., Опробование технологии бескабельного сбора полевой сейсмической информации при выполнении опытных работ в предгорных районах Республики Ингушетия и Чеченской Республики №4(46)\2013 стр. 39-44

Рябошапко С.М., Проблемы отечественной сейсморазведки №4(46)\2013 стр. 97-102

Спиридонов В.А., Абраров Р.С., Андреев М.И. Внедрение системы учета оборудования на предприятии по ремонту геофизического оборудования №1(43)\2013 стр. 94-96

Ужакин Б.А., Горбачев С.В., Кобзарев Г.Ю., Волков В.Р., Егоров А.А., Костин Т.В. Интегрированный подход к реализации крупномасштабных широкоазимутальных сейсморазведочных проектов от планирования до выполнения работ №4(46)\2013 стр. 6-17

Феоктистов А.В., Феоктистов В.В., Зачем геофизика нефтяникам? №2(44)\2013 стр. 10-19

Цыпышев Н.Н. Предложение №3(45)\2013 стр. 102-108

Цыренжапов Б.С., Компьютер-терминал полевой телеметрической системы 428XL под операционной системой Red Hat Enterprise Linux Workstation v5.4 №4(46)\2013 стр. 46-49

Череповский А.В. Электронные словари – кто победил, кто проиграл? №3(45)\2013 стр. 110-115

Череповский А.В., Мужно Д.А. Какой одиночный приемник лучше? №1(43)\2013 стр. 20-26

Череповский А.В., Новые критерии и рекорды в наземной сейсморазведке №2(44)\2013 стр. 20-28

Чичинин И.С., Сагайдачная О.М., Невзрывные сейсмические источники с широким частотным спектром Часть I – Постановка задачи на примере гидравлических вибраторов №2(44)\2013 стр. 61-68

Чичинин И.С., Сагайдачная О.М., Невзрывные сейсмические источники с широким частотным спектром Часть II – Дебалансные вибраторы или что надо сделать, чтобы невзрывные сейсморазведочные источники имели широкий частотный спектр №3(45)\2013 стр. 23-32

Шабалин Н.Я., Биряльцев Е.В., Рыжов В.А. Пассивная низкочастотная сейсморазведка – мифы и реальность №2(44)\2013 стр. 46-53

Шайдуров Г.Я., Кудинов Д.С., Щитников А.А., Воронцов Ю.С. К обоснованию создания кодоимпульсного источника сейсмических волн №3(45)\2013 стр. 97-101

Шайдуров Г.Я., Потылицын В.С. Дифференциальный приемник для выделения фазовых сдвигов полигармонического случайного сигнала ВП ЕЭМПЗ №1(43)\2013 стр. 80-82

Шехтман Г.А. Сейсморазведка и критерии подлинности науки №2(44)\2013 стр. 6-9

Шехтман Г.А., Кузнецов В.М., Громыко В.М. Изучение структуры околоскважинного пространства в Припятской впадине комплексом модификаций метода ВСП №1(43)\2013 стр. 83-86

Шнеерсон М.Б., Жуков А.П. Современные технологии возбуждения сейсмических волн №3(45)\2013 стр. 6-22

Щадин П.Ю., Обеспечение синхронности и контроля работы импульсных электромагнитных источников сейсмических волн «Енисей» №4(46)\2013 стр. 71-77

Применение автономной системы Hawk® компании INOVA для исследований в Скалистых горах Канады

Бину Джой (Binu Joy), INOVA Geophysical

▲ *Рис. 1. Суровые климатические условия*

Область применения автономных систем регистрации непрерывно расширяется. Бескабельные системы успешно используются в районах со сложным рельефом и неблагоприятными климатическими условиями. Хорошо известно, что преимущество бескабельных систем в том, что они позволяют успешно преодолевать различные препятствия при производстве работ. Проведение сейсморазведочных работ на территории Канады в зимний период сопряжено с решением целого ряда сложных для оборудования и персонала задач даже в случае применения стандартных кабельных систем. Компания Tesla Exploration Ltd. получила заказ на проведение сейсморазведки 3D/3C на блоке Willesden Green, площадью 260 кв. км (100 км миль), расположенном в районе Rocky Mountain House (пров. Альберта, Канада). Район производства работ охватывает территорию эксплуатируемого нефтяного месторождения и незаселенные площади с холмистым рельефом и участками вечнозеленых лесов. Доставка оборудования в район работ осуществлялась по действующим грунтовым дорогам, однако для более эффективной установки оборудования и контроля качества регистрации также использовались снегоходы.

Применение бескабельных систем для регистрации данных в зимний период на территории Скалистых гор - смелое решение! Для производства работ в таких условиях необходимо надежное оборудование, характеризующееся высоким качеством регистрации данных при пониженных температурах, устойчивостью к неблагоприятному воздействию низких температур и оптимальной гибкостью для обеспечения высокой производительности сейсмопартий. Успешное применение системы Hawk компании INOVA в уже завершенных проектах позволило компании Tesla рекомендовать эту систему регистрации для сейсморазведочных работ заказчику данного проекта. Проект предусматривал проведение широкоазимутальной сейсмосъемки с регистрацией данных высокой кратности по плотной сетке профилей с использованием 10000 полевых модулей Hawk, 10000 трехкомпонентных аналоговых геофонов, 12000 аккумуляторов и взрывных источников. Для повышения скорости установки и передвижки оборудования сейсмопартии использовали вертолетную технику. Специальные контейнеры с полным комплектом инструментов и оборудования упростили развертку системы. Регулярная проверка качества характеристик

▲ *Рис. 2. Повышенная гибкость*

оборудования в процессе регистрации выполнялась во время вылетов вертолетов с использованием системы Connex™ Field Harvest Tool. Выборочный контроль качества проводился с помощью снегоходов, что также способствовало максимальной производительности съемки.

В течение первых дней съемки высота снежного покрова в районе работ достигла 2-6 дюймов, а температура воздуха опустилась до -21°C (-6°F). Однако даже засыпанные снегом полевые блоки Hawk эффективно определяли координаты GPS и выполняли непрерывную запись сейсмических данных высокого качества. Специалисты по контролю качества не обнаружили недостатков в работе технологии Wi-Fi при пониженных температурах воздуха. Бесперебойная работа аккумуляторов вскоре развеяла опасения по поводу продолжительности эксплуатации в таких сложных условиях. Несмотря на низкие температуры, продолжительность эксплуатации аккумуляторов соответствовала техническим условиям завода-изготовителя. В процессе перестановки оборудования применялись специальные трейлеры, оборудованные приспособлениями для ускоренного обогрева аккумуляторов перед подзарядкой. Система Hawk характеризуется самым низким временем загрузки данных в отрасли: скорость загрузки сейсмограмм ОПВ в 5 раз выше скорости загрузки данных непрерывной регистрации. Несмотря на суровые климатические условия среднее количество отработанных ПВ в сутки составило 450 ПВ при абсолютном максимуме 708 ПВ/сут. В то же время выход трасс по проекту в целом составил более 99%.

▲ *Рис. 3. Работа без сбоев*

▲ *Рис. 4. Исключительная надежность*

Результаты сейсморазведочных работ демонстрируют широкие технические возможности, высокую производительность и надежность системы Hawk, обеспечившей регистрацию данных высокого качества в суровых зимних условиях на территории Канады. Корпуса из авиационного алюминия, в которые заключены компоненты системы Hawk, выдерживали пониженные температуры и подтвердили свою прочность при многочисленных перевозках и монтажных работах. Компания Tesla в полной мере использовала преимущества оборудования системы Hawk и дополнительного оборудования для повышения производительности наблюдений и преодоления всех препятствий при производстве работ в зимних условиях. Компания Tesla завершила сейсморазведочные работы в полном объеме менее чем за месяц, при этом получила данные высокого качества, что в очередной раз подтверждает высокую надежность и гибкость системы Hawk. В связи с успешным завершением работ заказчик планирует привлечь сейсмопартии компании Tesla и оборудование Hawk для последующих крупномасштабных сейсмических наблюдений, планируемых на конец текущего года.

КОМПАНИЯ INOVA ЯВЛЯЕТСЯ МИРОВЫМ ЛИДЕРОМ В ОБЛАСТИ ТЕХНОЛОГИЙ ДЛЯ ПОЛНОФУНКЦИОНАЛЬНОЙ ШИРОКОПОЛОСНОЙ НАЗЕМНОЙ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ.

Мы, компания INOVA, убеждены в том, что каждый этап открытия природных ресурсов должен проводиться с одинаковой тщательностью и точностью. Поэтому мы стремимся предлагать наиболее универсальный набор широкополосных продуктов и технологий из имеющихся на рынке в настоящее время.

Наши датчики, системы и источники возбуждения отлично взаимодействуют друг с другом, обеспечивая сбор широкополосных данных высочайшего качества, что дает возможность нашим клиентам максимально эффективно проводить процесс обработки, отображения и интерпретации данных.

Являясь мировым лидером в области полнофункционального высоко- и низкочастотного оборудования, компания INOVA обеспечивает получение достоверных результатов надлежащего качества ведущими геофизическими подрядчиками и компаниями, занимающимися разведкой и добычей.

INOVA

ВМЕСТЕ МЫ РЕШИМ ЛЮБУЮ ЗАДАЧУ!

CLARITY BROADBAND SOLUTION™

inovageo.com/ru/broadband

Жизнь связала с сейсморазведкой?

Рекомендуем: новейшая беспроводная телеметрическая система **Sercel UNITE**

GEOSEIS

Предоставление в аренду полного спектра телеметрического оборудования Sercel 408/428; бескабельной системы UNITE. Техподдержка, сервис и обслуживание геофизического оборудования. Производство импульсных источников «Геотон»

Холдинг «ГЕОСЕЙС»
Контактная информация:
Тел. (Москва):
+7 (495) 694-19-07
+7 (495) 694-19-97
Тел. (Тюмень):
+7 (3452) 48-33-72

Электронная почта:
geoton@geoton.ru
geoseis-servis@yandex.ru
geoseisltd@gmail.com
http:
www.geoseisholding.ru
www.geoton.ru