

ISSN 2074-8906

ПРИБОРЫ и СИСТЕМЫ РАЗВЕДОЧНОЙ ГЕОФИЗИКИ

ОБЩЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЕЖЕКВАРТАЛЬНЫЙ ЖУРНАЛ

ЯНВАРЬ-МАРТ

01/2013

Издается с 2002 г.

ТЕМА НОМЕРА:

Датчики геофизических полей

ТАКЖЕ В НОМЕРЕ:

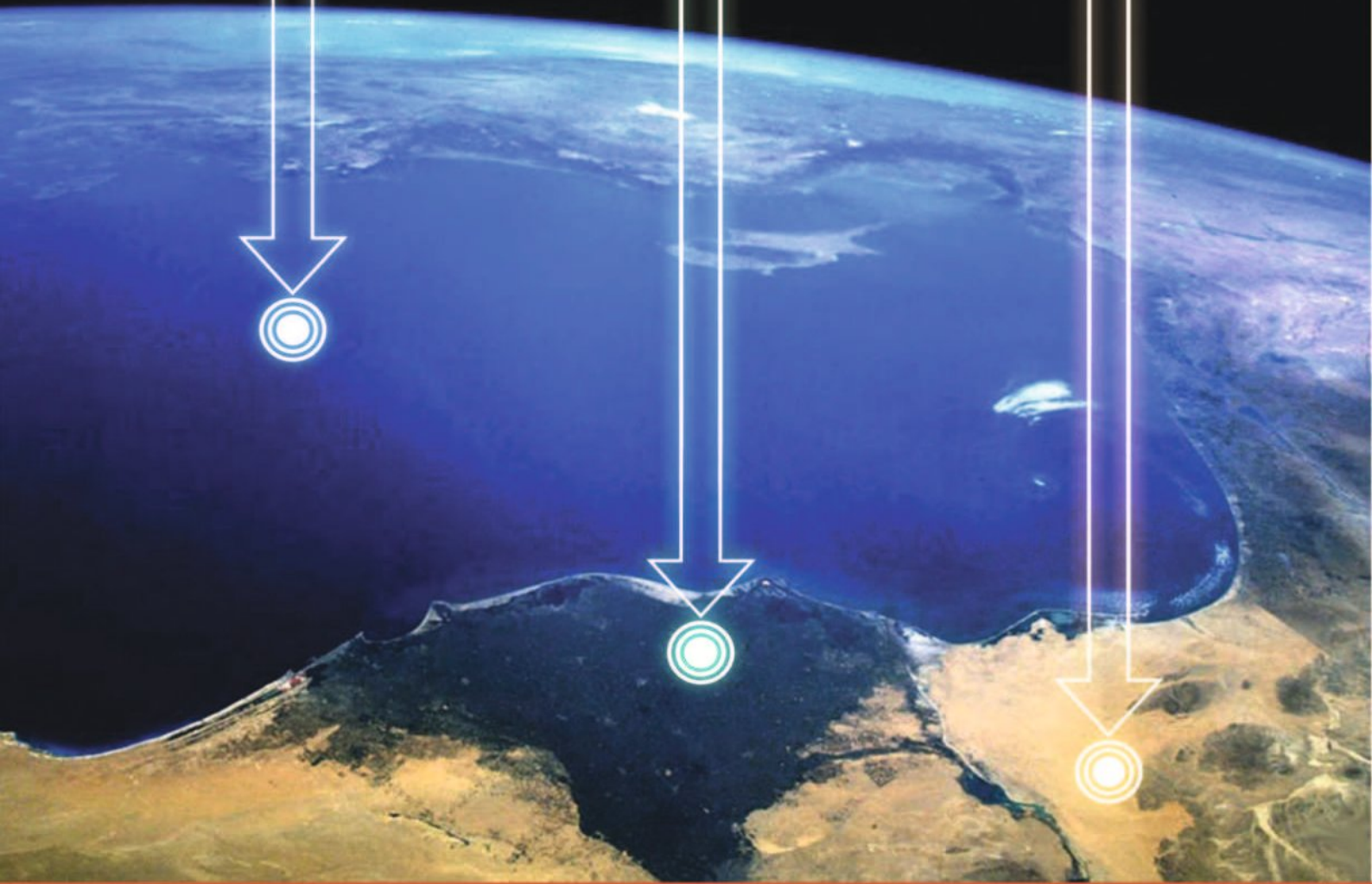
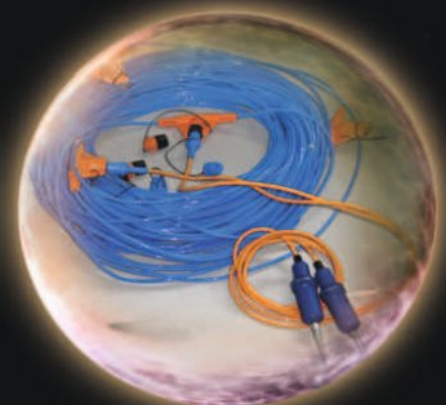
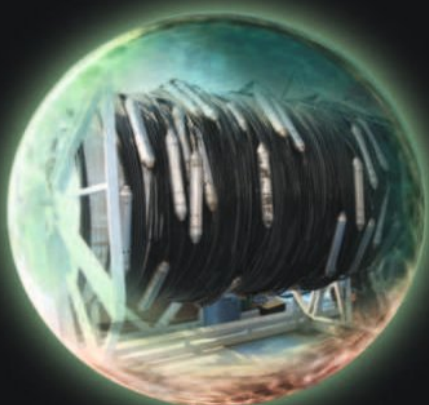
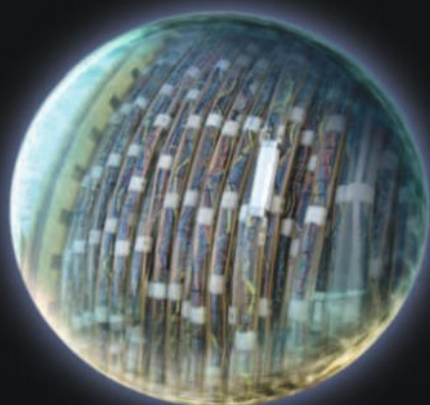
- Новая технология полевых работ АВИС
- Комплекс модификаций метода ВСП для изучения структуры околоскважинного пространства



 **XZone®**
Bottom Fish

 **XZone®**
Marsh Line

 **XZone®**
Fly Lander



СИ Технолоджи
ТЕЛЕМЕТРИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ

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

КОЛОНКА РЕДАКТОРА**Уважаемый читатель**

Главный редактор журнала П.А.Турлов

Наши партнеры

Логотипы организаций, финансово участвующих в издании этого номера журнала

ТЕМА НОМЕРА:

Датчики геофизических полей

ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫЕ РАБОТЫ

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» 6
 Емкушев А.С., Слонов Д.Н., Красных В.А., Калинин А.Ю.

ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

Буксируемая сейсмическая коса — это актуально! (обзор) 11
 Кузнецов И.М.
Какой одиночный сейсмоприемник лучше? 20
 Череповский А.В., Мужно Д.А.
MEMS акселерометр 27
 Кузнецов И.М., Турлов П.А.
Многокомпонентные установки сейсмоприемников и перспективы их применения 66
 Куколенко О.В., Тарасов Н.В., Гнатюк А.И., Селезнев В.А.,
 Зуб Е.А., Чернышев В.В., Навроцкий А.О.

ГАЛЕРЕЯ НОВИНОК

Малогабаритный сейсмоприемник СПВ-3к 35
 Марченков А.Ю., Мишин А.В., Пастухов В.В., Семейкин Н.П.,
 Трушков В.Н.
Сейсмические датчики на принципах молекулярно-электронного переноса в твердотельных жидкостных микроструктурах 39
 Агафонов В.М., Криштоп В.Г., Егоров И.В.

«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.: 39-33-77
Тираж: 300 экз.

Подписано в печать
 30.03.2013
Дата выпуска
 15.04.2013
 Издание зарегистрировано
 в Министерстве РФ по делам
 печати, телерадиовещания
 и средств массовых коммуни-
 каций за номером ПИ №77-7906
 от 27.04.2001
Турлов П.А., составление, 2013
ООО «ИнформГеофизСервис»,
оформление, 2013

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

На обложке:
 фотография предоставлена
 компанией ООО «Геоспейс
 Технолджис Евразия»

КРУПНЫМ ПЛАНОМ

Новый старый знакомый	51
Интервью с Песковым А.В.	
О новом производстве сейсмоприемников на предприятии ООО «Геоспейс Технолоджис Евразия»	54
Зиновьев В.И.	
Сравнение результатов полевых испытаний геофонов при выполнении сейсморазведочных работ по методике 2D в Колумбии	60
R.Yibirin, A.Lacruz, J.Caldwell	
Такие геофизики — наша гордость!	97
Интервью с Алелюхиным Н.П.	

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ

Дифференциальный приемник для выделения фазовых сдвигов полигармонического случайного сигнала ВП ЕЭМПЗ	80
Шайдуров Г.Я., Потылицын В.С.	
Изучение структуры околоскважинного пространства в Притятской впадине комплексом модификаций метода ВСП	83
Шехтман Г.А., Кузнецов В.М., Громыко В.М.	
Устранение фазовых искажений, вызванных регистрирующей аппаратурой, на этапе обработки данных сейсморазведки	87
Брыксин И.В., Цвей Е.В.	
Внедрение системы учета оборудования на предприятии по ремонту геофизического оборудования	94
Спиридонов В.А., Абраров Р.С., Андреев М.И., Кашфиева З.А.	

НАШИ ПАРТНЕРЫ

СИБИРСКИЙ ФЕДЕРАЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ
SIBERIAN FEDERAL UNIVERSITY



Уважаемый читатель!

Итак, год 2013 начался, и Вы получили первый в этом году номер нашего журнала, открывающий второе десятилетие его существования. Мы очень надеемся, что изданные нами выпуски оказались полезными для Вас. Во всяком случае, об этом свидетельствуют многочисленные отзывы на те или иные публикации, поступающие к нам в редакцию. Мы очень дорожим этой обратной связью и делаем все от нас зависящее, чтобы наши читатели ежеквартально получали свежий, еще пахнущий типографской краской выпуск журнала с информацией о новой продукции, свежих идеях и передовых технологиях, различными публикациями на темы, представляющие интерес для геофизической общественности.

Вместе с тем, приходится констатировать, что с каждым годом выпуск журнала становится все более трудной задачей. И каждый раз редакция прилагает титанические усилия, чтобы очередной выпуск журнала увидел свет. Пусть это звучит несколько выспренно, но это точно отражает суть ситуации.

Проблем много. Среди них – затратность производства журнала; достаточно сложная технологическая цепочка выпуска журнала; конкуренция с электронными изданиями и т.д. Но основной проблемой является хронический недостаток финансовых средств. Наш журнал не является прибыльным. Он, в отличие от бесплатных бюджетных журналов при крупных организациях, не дотируется. А завоевание подписчиков становится все более трудной задачей. Эти трудности не оригинальны, они характерны для узкоспециализированных технических журналов и одним из путей их преодоления некоторые видят в переходе к электронному формату журнала. Но не все так просто.

По существующим законам Интернет-сайты пока не рассматриваются как средства массовой информации, что затрудняет публикацию статьи с претензией на научность, поскольку такие статьи не учитываются, например, при защите диссер-

тации. Есть проблемы с защитой интеллектуальной собственности. Существуют проблемы с зарабатыванием средств за счет размещения рекламы на сайтах журнала, поскольку для рекламодателей в специальной области, такой, например, как геофизика, пока еще существуют психологические ограничения: как оценивать эффективность рекламы, какие формы рекламы следует выбирать, по какому критерию оплачивать. Очевидно, что «бумажный» критерий – стоимость полосы – для Интернета не подходит. Не секрет, что издатели печатных СМИ на Западе столкнулись с тем, что с помощью сайта в Интернете сложно компенсировать падение тиражей и сокращение поступлений от рекламы.

Из сказанного выше видится следующий возможный путь развития нашего журнала:

- сохранение бумажного формата с тиражом, необходимым для: подтверждения в регистрирующих органах юридического факта выхода журнала; рассылки обязательных сигнальных экземпляров; подписки для читателей, предпочитающих бумажный формат в этом году
- перевод журнала в электронный формат как основную форму его существования.

Полный доступ ко всем материалам должен осуществляться по подписке.

Таким нам видится продолжение существования журнала в недалеком будущем. Удастся ли нам реализовать такой проект и будет ли он успешным - покажет время.

Уважаемый читатель! Для нас очень важно знать Ваше мнение по данной проблеме. Каким Вы видите будущее нашего с Вами журнала? Пишите нам!

Редакция благодарит читателей (число которых выросло в этом году), авторов публикаций и рекламодателей за поддержку журнала. Пусть в этом году сбудутся все Ваши мечты и реализуется все Вами задуманное. Мы желаем Вам счастья, удачи, здоровья и успехов в Вашей деятельности!

Главный редактор

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.

- Емкужев А.С., начальник Управления по недропользованию по КБР;
- Слонов Д.Н., директор по продажам в южном регионе ЗАО «ГЕОТЕК Холдинг»;
- Красных В.А., главный геофизик ОАО «ОГЭ»;
- Калинин А.Ю., заместитель главного геофизика ОАО «ОГЭ»

На сегодняшний день возможности получения новых данных сейсморазведки во многих районах, где работы ведутся десятилетиями, практически исчерпаны. Связано это, прежде всего, с ограничениями по поверхностным условиям. Везде, где можно провести сейсмический профиль, этот профиль пройден, причем, зачастую не один раз. Мешают работам природные препятствия, населенные пункты, участки интенсивного земледелия. Прокладывая дублирующие профили по возможным для отработки направлениям можно усложнить методику – удлинить приемную расстановку, сменить тип источника, повысить кратность - но все это не дает значимого прироста информативности, поскольку по одному и тому же варианту проложения профиля выявить что-то существенно новое в геологическом плане сложно.

Появление многочисленных разработок бескабельных систем (в настоящее время только на слуху 5-6 модификаций, продвигаемых с разным успехом различными производителями) свидетельствует о насущной потребности рынка сейсмических исследований в удобной и надежной системе, позволяющей решить следующие задачи:

- прокладывать профиль независимо от естественных препятствий, практически везде, где может пройти человек;
- моделировать приемные системы независимо от длины кабеля – разряжая и уплотняя приемники под решение локальных задач;

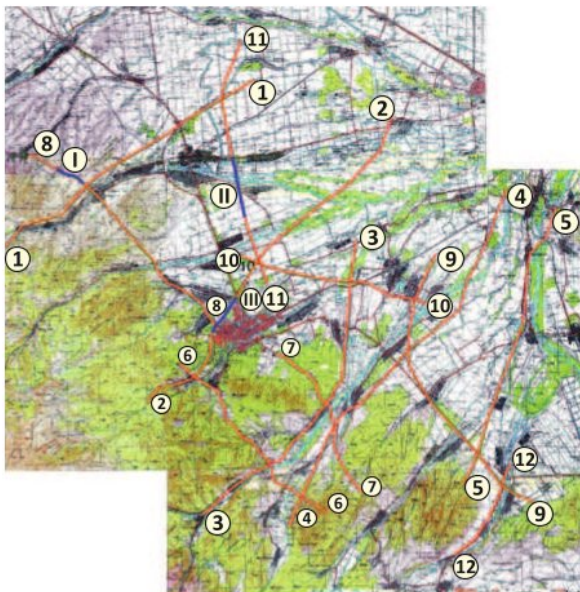
- облегчить процесс расстановки и наладки приемных линий, за счет чего повысить скорость работы.

К основным минусам бескабельных систем по большому счету относятся два – во-первых, нет оперативного контроля за регистрируемой информацией, и как следствие, заказчики не готовы к полномасштабным работам с бескабельными системами, и, во-вторых, пока данные системы просто дороже, хотя цена регистрирующего модуля уже сопоставима с аналогичными кабельными системами.

В августе-октябре 2012 года ОАО «Оренбургская геофизическая экспедиция» проводило работы в Республике Кабардино-Балкария в рамках государственного контракта, на проведение сейсмических работ в объеме 400 пог км. Работы проводились с использованием сейсмостанции SN408 (Sercel) и виброустановок CB14/150 на базе Урал (ЗАО «Геосвип»).

Понимая актуальность вопроса внедрения новых технологий, ОАО «ОГЭ» при участии в тендере на сейсмические работы в предгорьях Главного Кавказского хребта, проводимого Каббалнедра, заявило сверхтендерного задания работу с бескабельными системами.

Учитывая сложную конфигурацию проектных профилей (Рис.1), бескабельные датчики планировались как вспомогательный инструмент, бескабельные датчики планировались как вспомогательный инструмент, повышающий качество регистрируемой информации



▲ Рис. 1. Проектная схема обработки профилей.

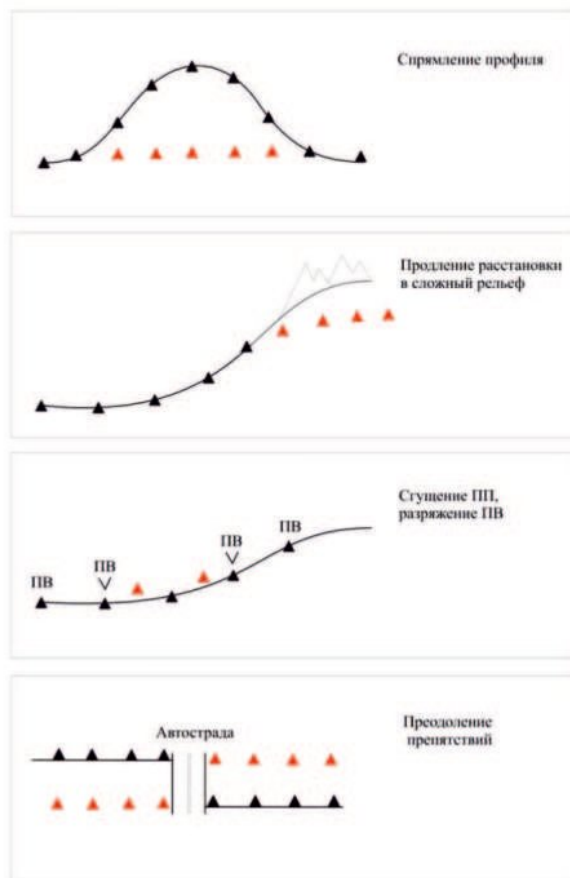
за счет дополнительных трасс регистрации для:

- оптимизации расположения точек приема сигнала на профилях пересекающих особо сложные районы с высокой урбанизацией и сложным рельефом (фото населенных пунктов, реки, автотрассы, оврагов);
- продления приемных профилей в зоны, недоступные для транспортных средств, на горных участках для расширения площади регистрации данных.
- обеспечения непрерывной регистрации данных при преодолении препятствий (реки, железные дороги, автострады), осложняющих или не допускающих прокладку кабельных систем. (Рис.2)

Основные задачи, которые мы ставили перед собой при данных работах:

подтвердить идентичность регистрируемой информации кабельными и бескабельными системами;

показать, что использование бескабельных технологий позволяет получить прирост геологической информации в местах, недоступных традиционным системам;



▲ Рис.2. Возможные схемы исп-ния БСПГИ.

разработать рекомендации по использованию бескабельных технологий для работы в районах сложного рельефа и высокой урбанизации.

Из широкого спектра бескабельных систем была выбрана система SCOUT разработки СКБ-СП (Россия). Выбор связан, прежде всего, с оперативной технической поддержкой и участием ведущих специалистов предприятия в совместном внедрении технологии в процесс производства.

Учитывая небольшой опыт ведения работ с бескабельными датчиками большинства геофизических компаний и ограниченное число не рекламных публикаций на эту тему, приведем технологическое описание процесса с системой SCOUT полностью:

1. Подготовка входного SPS-файла с заданными координатами расстановки профиля в проекции Гаусса-Крюгера.
2. Проведение проверки заряда ак-

кумуляторных батарей блоков.

3. Проведение тестирования блоков, используя внутренний тест.

4. Проведение проверки групп сейсмоприёмников тестером на предмет замыкания.

5. Установление в блоках режима продолжительности работы на профиле в часах при помощи Ноутбука с соответствующим программным обеспечением через wi-fi.

6. Проведение расстановки блоков по пи-кетам, включение питания блоков, посредством поднесения магнитного ключа к корпусу с последующей фиксацией работоспособности посредством светодиодной индикации.

7. Подключение сейсмогрупп к блокам.

8. В процессе конвейерной работы на профиле физический номер блока не учитывается и блоки самостоятельно определяют координаты пикета с некоторой погрешностью, которая исключается в процессе формирования сейсмограмм на компьютере при использовании входного SPS-ФАЙЛа.

9. Установление блока вспомогательных каналов в кунге и подключение кабеля к блоку управления и синхронизации виброисточником (ПЕЛТОН) либо взрывом (ССВ) для записи свипсигнала и КОМ на управляющий компьютер.

10. Установление на крыше кунга сейсмо-станции магнитной антенны от блока вспомогательных каналов для связи со спутником и получения меток

в реальном времени.



11. Дальнейший процесс полевых работ аналогичен кабельной системе. Старт задаётся с управляющего компьютера.

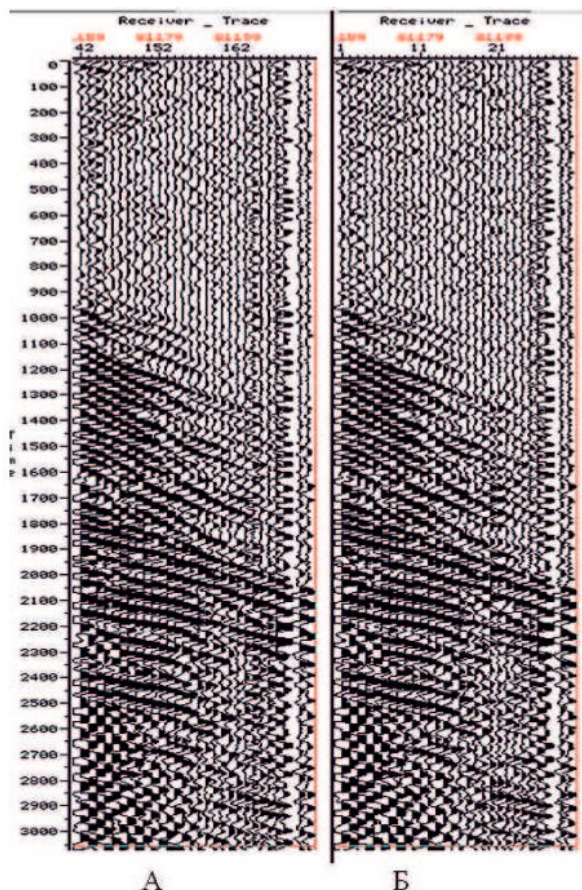
12. В конце работы сбор блоков и считывание сейсмозаписей используя специальный блок с 24 отводами подключёнными к компьютеру через порт Ethernet.

13. Формирование данных на компьютере в формате SEG-D. Операции накопления, корреляции, редактирование шумов и воспроизведения осуществляются на рабочем компьютере ПВЦ.

Беспроводная система СКАУТ применялась для продолжения рабочей расстановки за непреодолимое проводной телеметрической косой препятствие на профиле, например широкая дорога, река. За препятствием устанавливались одноканальные беспроводные регистраторы (БОР). При коммутации рабочих каналов за препятствие, недостающие каналы проводной системы замещались каналами беспроводной. Этим достигнуто сохранение полной канальности отработки профиля. После перехода источника возбуждения через препятствие проводная и беспроводная части размотки менялись местами, и шел обратный процесс наращивания проводной части и переход на работу в обычном режиме. Таким образом, для корректного преодоления препятствия, канальность беспроводного участка должна была составлять половину рабочей канальности отработки профиля.

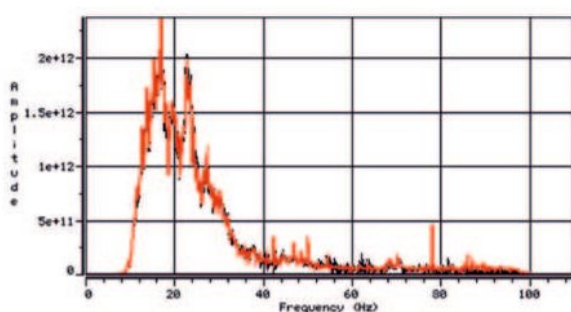
БОР использовались на 11 профиле, пересекающем горную речку Баксан, достигающую в ширину более 100 метров, имеющую бурное течение, что не позволило перетащить кабель через данное препятствие.

Отработка профиля производилась двумя системами параллельно, для чего



▲ Рис.4 Сравнение сейсмограмм, отработанных параллельно системой SN408 (А) и SCOUT (Б)

▼ Рис.5 Соответствие АЧХ сейсмограмм, приведенных на рис.4.



были созданы идентичные программы отстрела, отличающиеся только выбором соответствующих рабочих пикетов регистрации. В результате получены отдельные сейсмограммы, образующие пары с полной канальностью.

На Рисунке 4 приведены сейсмограммы, полученные с кабельной и беска-

бельной системой на участке ПР2.

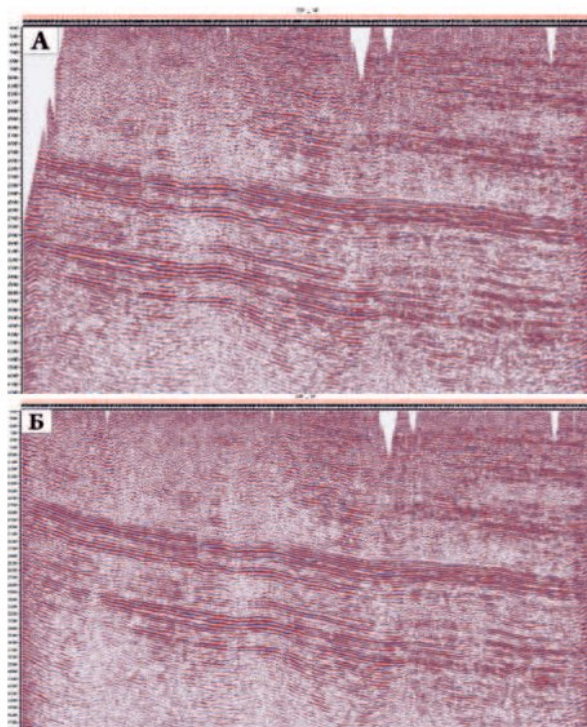
Помимо визуальной идентичности сейсмограмм, приводится сравнение амплитудно-частотных характеристик данных сейсмограмм, подтверждающее визуальную идентичность (Рис.5)

После отработки сложного участка профиля вышедшие из рабочей расстановки беспроводные блоки собирались с профиля, и весь материал с них перекачивался на управляющий компьютер через сетевой коммутатор Ethernet. Можно использовать и интерфейс Wi-Fi, но это снижает скорость перекачки данных, что неприемлемо для системы с большой канальностью. Процедура формирования сейсмограмм, в соответствии с выполненной программой работ проводилась на ПВЦ. Из общего объема собранных данных выбирались полезные участки с виброграммами пикетов, задействованных в отработке конкретных точек, выполнялись заданные процедуры накопления и корреляции. В результате формировалась сейсмограмма в формате SEG-D. Полученный материал контролировался программой воспроизведения, обеспечивающей визуализацию сейсмограмм на экране компьютера или бумажном носителе после предварительной фильтрации и ручного или автоматического усиления.

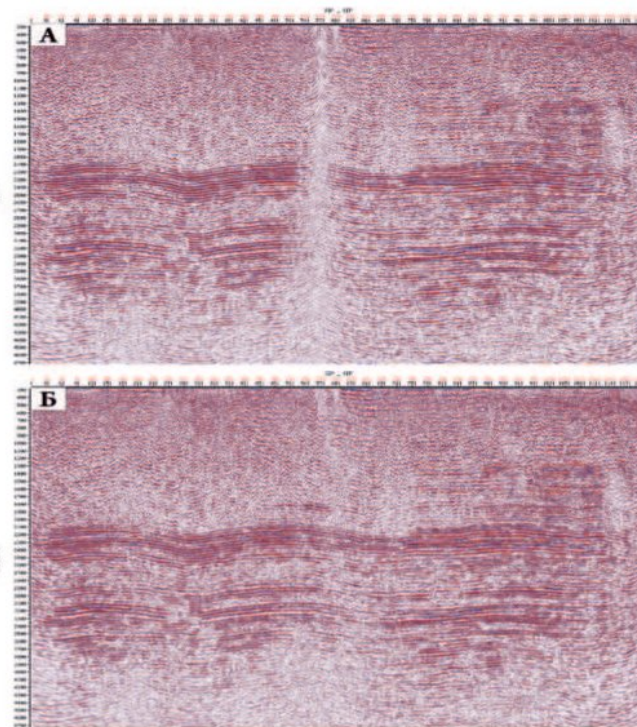
Использование бескабельной технологии позволило поддержать кратность на профилях 2 и 11, сформировав их практически без разрыва (Рис. 6, 7)

Получение дополнительной информации с помощью БСГИ очевидно.

Продление и стыковка профилей через препятствия позволяет сделать непрерывную корреляцию отражающих горизонтов, повысить кратность прослеживания в эксклюзивных зонах, и получить дополнительную сейсмическую информацию там, где невозможно эффективно использовать проводные системы.



▲ Рис. 6. Профиль 2. А - без использования SKAUT ; Б – продление профиля с использованием SKAUT (Рис 2, схема 2)



▲ Рис. 7. Временной разрез по профилю 11. А – с разрывом (река Бахсан); Б - состыкованный с использованием SKAUT

В результате выполнения данного проекта по полученному опыту работы с бескабельными датчиками можно сделать следующие выводы:

сейсмическая информация получаемая кабельной и бескабельной системой идентична;

использование бескабельной системы технологично и не требует особой подготовки персонала;

при работе в сложных поверхностных условиях, затрудняющих проложение прямолинейных профилей, возрастает роль планировщика для корректного формирования профиля ОГТ;

использование БОР в комплексе со стандартной кабельной системой позволяет получить прирост информативности сейсмических материалов, без потерь в качестве за счет неоперативного считывания данных с БОР;

разработчикам БОР целесообразно

повысить сходимость кабельной и бескабельной систем для удобства в работе и повышения производительности объединенной системы.

Учитывая экспериментальность данного проекта, авторы статьи считают целесообразным проведение значительного проекта параллельной съемки кабельной и бескабельной систем в сложных поверхностных условиях, чтобы оценить технологическую, экономическую и геологическую составляющую работы с использованием данных технологий, а так же оценить возможность самостоятельной работы бескабельной системы без поддержки стандартной кабельной технологии.

Буксируемая сейсмическая коса – это актуально! (обзор)

■ Кузнецов И.М., СРО МОО ЕАГО, г. Саратов

Наземная сейсморазведка, даже в виде 2D профилей, очень затратная (обычно в 5-10 раз дороже, чем морская сейсморазведка). В связи с этим, представляет интерес любая возможность снижения затрат на проведение сейсморазведочных работ. Это особенно важно для районов со сложными условиями проведения работ, таких как: север Европейской части России, Западная и Восточная Сибирь, Арктические шельфы России, Антарктика. Но это, несомненно, представляет интерес и для любых сейсмических исследований. С этой точки зрения понятен постоянный интерес к технологии проведения наземных сейсморазведочных работ, предусматривающей отказ от установки кабеля с вручную подключаемыми к нему геофонами и использование сейсмической приемной расстановки, буксируемой по поверхности исследуемого района при перемещении ее с пикета на пикет. Это привлекательно и с практической, и с экономической точек зрения.

В принципе, буксируемая коса состоит из основного кабеля с центральным элементом усиления, окруженным большим числом изолированных проводников. Кабель может выдержать усилие в несколько тонн. К основному кабелю подключены геофоны, как правило, с одноосевой карданной подвеской (half-gimballed geophones).

Так как основной проблемой, которую решают создатели сейсморе-

гистрирующих систем с буксируемой косой, является обеспечение хорошей связи геофона с землей, то, как правило, именно способом подключения геофонов к основному кабелю и отличаются уже используемые на практике буксируемые косы. При этом буксируемые косы, предназначенные для малоглубинных съемок, могут быть относительно короткими с очень плотно размещенными геофонами – требование для малоглубинных съемок, которое, в случае использования обычных технологий, существенно увеличивает их стоимость.

Попытки создания данной технологии проведения сейсморазведочных работ были предприняты еще в 70-х годах прошлого века. Так в [1] описана система буксируемого наземного кабеля, которая затем была использована компанией Geophysical Service Inc. при проведении сейсмических работ на морском льду в арктическом районе Северной Америки. К сожалению результаты работ опубликованы не были.

Примерно в тоже время буксируемая коса была создана и испытана в нашей стране в условиях Западной Сибири [2]. Дальнейшим развитием этих работ явилось использование буксируемой косы при проведении работ по технологии многоуровневой сейсморазведки [3].

Согласно van der Veen и Green [4] и van der Veen и др. [5], одна из ранних и наиболее полно описанных наземных буксируемых кос была создана Инсти-

тутот геофизики EТН в Швейцарии. Эта наземная буксируемая коса была сконструирована с использованием самоориентирующихся геофонов на карданном подвесе, утяжеленных 1-килограммовыми корпусами. Эти корпуса установлены на нижней стороне резинового листа на расстоянии 1м друг от друга. Такое расположение развязывает геофоны друг от друга, но позволяет им прорыть небольшую борозду, чтобы улучшить контакт с размягченным грунтом.

Хотя различия между устанавливаемыми и буксируемыми геофонами и существуют, однако истинный характер данных сохраняется хорошо. Короткие записи на различных поверхностях показали лишь незначительные расхождения. Различия между разрезами, полученными с помощью наземной буксируемой косы и обычной сейсмической косы, так же весьма незначительны.

С использованием наземных буксируемых кос стало возможным сократить количество обслуживающего персонала на 30-40% и увеличить исследуемую площадь практически на 100%. Дальнейшие затраты могут быть сокращены за счет использования импульсных или вибрационных наземных источников возбуждения, не требующих бурения.

Оригинальный наземный стример был разработан Др. Carsten Ploug из COWI в Lyngby, Дания [6]. Двухсотметровый стример оборудован 95-ю самоориентирующимися геофонами с расстоянием между ними от 1.25м до 2.5 м. Различный интервал между геофонами, с более коротким интервалом вблизи вибратора, позволил

повысить качество данных в малоглубинной части разреза, а благодаря максимальному выносу в 200 м, обеспечить возможность получения данных с глубины более 1 км.

Наземный стример первоначально создавался для использования на мощеных дорогах. Геофоны с независимой подвеской буксировались с помощью коротких кабелей, подключенных к основному стримеру, что позволяло каждому геофону перед регистрацией занимать более стабильное положение. В дополнение к преимуществу, связанному с рентабельностью системы наземного стримера, сбор данных на дорогах общественного пользования не требует специального разрешения для пересечения частных участков или участков с ограниченным доступом.

Доктор Ploug использует источник возбуждения сейсмических колебаний IVI ViniVibe II как для буксировки стримера, так и в качестве источника возбуждений. Для регистрации данных и корреляции в реальном времени используются аппаратура Geometrics Geode. Высокоскоростное оборудование корреляторов включено в каждый блок и любое число каналов может быть прокоррелировано за время менее 1 сек. Меньшие по объему наборы коррелированных данных быстро пересылаются в основной компьютер (в данном случае портативный компьютер), что существенно повышает производительность при выполнении работ. Чтение из стека позволяет отбраковывать зашумленные записи и осуществлять повторную регистрацию без существенной потери

производительности работ.

Отличительной особенностью стримера KGS (Kansas Geological Survey) [6] является использование оригинального способа обеспечения связи геофонов с поверхностью земли. Геофоны установлены внутри отрезка прочного пожарного шланга. Вместо штыря, каждый геофон прикреплен винтами к трехточечному «резаку», который прорезает канавки в поверхности, по которой он буксируется. Посторонняя грязь выталкивается в сторону, а легкая растительность срезается, оставляя твердую почву, которая улучшает контакт с грунтом. В зависимости от типа грунта для утяжеления добавляется цепь. Пожарный шланг защищает кабель, уменьшает шум при буксировке и достаточно прочен для буксировки трактором.

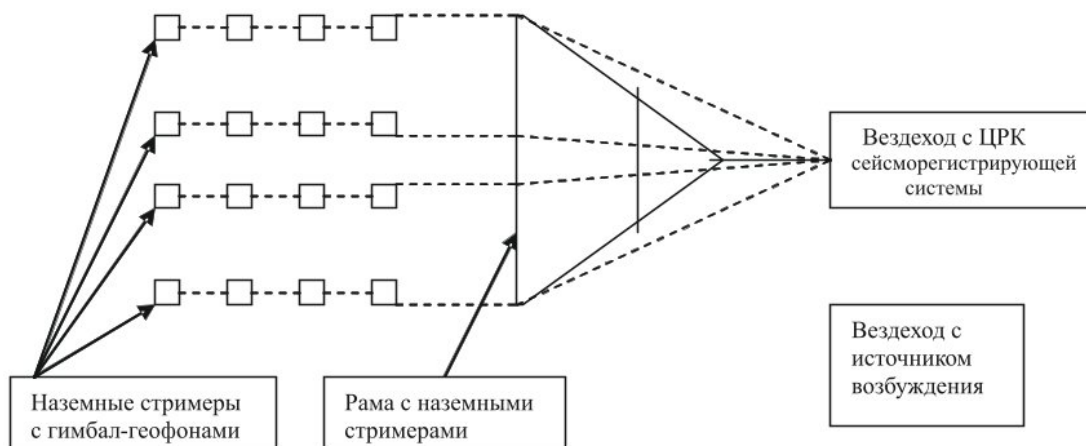
Специалисты компании Tyrens (Швеция), разработали 24-канальный наземный стример с простой и элегантной конструкцией [6]. Стример применяется в основном для сбора и интерпретации поверхностных волн. Эти данные обрабатываются и интер-

претируются с применением хорошо известной технологии MASW, использующей программное обеспечение, созданное Канзасской Геологической Службой.

Стандартные 4,5Гц геофоны OYO/Geospace монтируются на металлических пластинах (приблизительно 4 кг), размещенных на расстоянии 1м друг от друга и соединенных лентой из синтетического волокна. Для сбора данных используется сейсмограф Geometrics Geode и Notebook. В качестве источника сейсмических колебаний используется кувалда.

Несомненно, самый амбициозный на сегодняшний день наземный стример создан фирмой Montana Tech под руководством Marvin Speace, Curtis Link, Pat Miller и Jack Kruppenbach [6]. Чтобы сократить время развертывания расстановки, 96-канальная 3-D расстановка из 4-х стримеров буксируется вездеходным автомобилем с использованием лебедки, как при морской разведке (см. рис. 1).

С целью обеспечения хорошего контакта геофона с грунтом специали-



▲ Рис.1. 4 стримера буксируются вездеходом. Источник возбуждения перемещается независимо от расстановки наблюдения.

ты из Montana Tech взяли за основу конструкцию стримера, похожую на конструкцию, разработанную группой из EТН. На нижней стороне длинного резинового листа крепятся карданные геофоны, а на верхней крепится кабель. Сверху кабели прикрыты еще одним резиновым листом, что обеспечивает этой системе большую устойчивость к механическим воздействиям.

Сравнение данных, полученных с помощью геофонов, установленных в грунт, и наземными стримерами, показали, что имеются существенные отличия при размещении карданных геофонов непосредственно на мягкой поверхности, такой как трава. Но при использовании на влажном песке, асфальте или снегу результат практически одинаков.

Результаты экспериментальных работ по сбору и обработке сейсмоданных наземной разведки, полученных с использованием буксируемых кос с самоориентирующимися геофонами, демонстрируют их большие потенциальные возможности как эффективного средства изучения верхней части разреза. Основные преимущества использования наземных стримеров для исследования ВЧР заключаются в следующем:

- Отпадает необходимость установки геофонов, что весьма существенно при малом интервале установки геофонов;
- Существенно снижается количество обслуживающего персонала, используемого для проведения съемки;
- Существенно увеличивается скорость проведения съемки;
- Заметно снижается стоимость про-

ведения работ.

Естественно, результаты работ с использованием наземного стримера во многом зависят от поверхностных условий исследуемого района. Однако, несмотря на эти ограничения, ожидается, что использование наземных стримеров при исследовании ВЧР во многих районах позволит существенно сократить время проведения исследований и снизить их стоимость, при сохранении высокого качества полученных данных.

Ограниченное применение наземных стримеров, по-видимому, связано с отсутствием использующих их эффективных технологий, востребованных практикой сейсморазведочных работ. Прежде всего, это относится к прямым исследованиям ВЧР в районах со сложными приповерхностными условиями. Одна из таких технологий была предложена специалистами ОАО «Тюменьнефтегеофизика». Это, так называемая технология микроМОВ, предусматривающая использование высокопроизводительной буксируемой приемной косы, созданной специалистами ООО «ОЙО-ГЕО Интернэшнл» (Россия) [7]. Отличительной особенностью данной буксируемой косы является использование самоориентирующихся датчиков на карданном подвесе, подсоединенных к канальным отводам буксируемой косы с помощью разъемов, позволяющих быстро подсоединить или сменить датчик. В особых условиях, повышающих вероятность обрыва, резьбовое соединение разъема может не использоваться. В экстремальной ситуации произойдет лишь размыкание контак-

тов разъема без обрыва токоведущих жил. Такая конструкция делит устройство на две неравные по стоимости части: «малоценная» коса, на которую приходится основные усилия деформации, и самоориентирующиеся датчики, наиболее ценная и, как показали испытания, надежная часть изделия. Кроме того, один набор буксируемых датчиков позволяет работать с косами, имеющими различное расстояние между каналами. Длина приемной установки может быть изменена при незначительных затратах. Используемые датчики могут быть одно-, двух-, и трехкомпонентными.

Особый интерес применение буксируемой косы представляет для районов со сложными условиями проведения работ, таких как: север Европейской части России, Западная и Восточная Сибирь, Арктические шельфы России, а также Антарктика.

В 80-е годы учеными Мюнстерского университета (Германия) были проведены опытные работы с использованием буксируемой косы в Антарктике [8]. Длина буксируемой косы с подключенными к ней 96 геофонами, получившей название «снежный стример», составила 5760 м. усилие протяжки составило несколько тонн, при коэффициенте трения равном 0,3 в процессе протяжки и 0,5 в начале движения. Был отработан линейный профиль длиной 15 км.

В 1988 г. специалистами университета в Бергене, компаний Norsk HYDRO A/S и Store Norske Spitsbergen Kullkompani (Норвегия) с использованием «снежного стримера» был отработан линейный профиль длиной 300

км в долинах Slavbard (Норвегия) [9]. Используемый при проведении работ «снежный стример» имел длину 1500 м и 360 геофонов. Авторы отмечают существенное снижение затрат на проведение работ по сравнению с обычной технологией сейсморазведочных работ.

Эти и другие исследования, выполненные с целью выяснения особенностей применения данной технологии сейсморазведочных работ в условиях Крайнего Севера и Антарктиды, позволили получить ответы на следующие вопросы:

1. Влияние связи геофона с основной средой (земля, снег, лед) на качество регистрируемых данных;
2. Влияние окружающей среды на уровень шума;
3. Эффективность использования различных источников возбуждения.

Связь геофона с основной средой (земля, снег, лед)

В [9] приведены результаты сравнительных испытаний «снежного стримера» с самоориентирующимися геофонами, лежащими на поверхности, и установленными вручную геофонами, погруженными в снег. В геофонах, используемых в «снежном стримере», самоориентирующийся датчик был заключен в заполненный маслом цилиндрический металлический корпус. Корпус имел длину около 20 см, диаметр – около 4,5 см и вес – около 1 кг. Геофоны стримера лежали на снегу, в то время как геофоны, устанавливаемые вручную, были погружены ниже поверхности снега на 10 – 20 см.

Было выполнено множество сравнительных испытаний, однако существенных или систематических различий ни при по-трассовом сравнении, ни при сравнении сейсмограмм обнаружено не было. Был зарегистрирован профиль длиной 4 км в заснеженной тундре в центральном осадочном бассейне Шпицбергена с использованием как «снежного стримера», так и геофонов, установленных вручную. Приемная расстановка включала 60 каналов с расстоянием между ними 25 м, в то время как в качестве источника использовались две 50-ти метровые линии разложенного на поверхности детонирующего шнура общим весом 4 кг. Интервал возбуждений составлял 50 м, что обеспечило СМР перекрытие с 4х15 – кратностью. В процессе обработки наборы 4-х соседних компоновок трасс были просуммированы для получения квази- 60-ти кратного перекрытия [9]. Существенных отличий в отраженных сигналах не отмечено. Исходя из этого был сделан вывод о том, что различия в связи не влияют на данные и, что резонансные частоты системы геофон – снег возможно существенно выше 80 Гц.

Этот вывод подтверждается результатами, приведенными в [7]. При этом отмечено, что идентичность сигналов, принимаемых обычными и буксируемыми системами, достигается при соблюдении некоторых условий. К таким условиям относятся, прежде всего, массогабаритные показатели и, соответственно, удельная нагрузка на грунт. Улучшает результат и образова-

ние борозды в снегу, песке и др.

Уровень шума

Геофон, находящийся на поверхности, конечно более подвержен воздействию ветра и особенно к бомбардировке его частицами снега, чем геофон, находящийся под снегом. Натянутые кабели «снежного стримера» также могут вибрировать на ветру и генерировать шум.

В [9] приведены результаты испытаний «снежного стримера» в различных погодных условиях. В процессе выполнения работ гусеничное средство протягивало «снежный стример» на следующий пикет, затем сдавало назад на 1 м, чтобы устранить натяжение кабеля. После остановки в течение первых нескольких минут «снежный стример» становился менее шумящим. Этот эффект был наиболее замечен в течение одной или двух минут после перемещения кабеля.

Уровень шума очень зависит от скорости ветра. Только при скорости ветра свыше 6-8 м/сек шумы «снежного стримера» существенно превышают шумы установленных геофонов и по-видимому этот дополнительный шум в основном вызван ударами по геофонам перемещающихся частиц снега, что имеет место только при вышеуказанной скорости ветра. Тот факт, что при более низких скоростях ветра погруженные геофоны имели почти такой же шум, что и «снежный стример», говорит о том, что в основном энергия ветра передается через снег, а доля шума, связанная с непосредственным воздействием ветра на

геофон, незначительна.

Важное значение имеет также направление ветра относительно кабеля. Отмечено, что при сильном ветре (свыше 6-8 м/сек) «снежный стример» был более шумным при направлении ветра поперек кабеля, чем вдоль него. В одном эксперименте разница составила более 10 дБ. По-видимому, это связано с тем, что в этом случае воздействию ветра подвержена большая поверхность кабеля и геофонов. Шум ветра носит широкополосный характер, уменьшающийся на 0,1 дБ/Гц в полосе 10 – 100 Гц. Пространственная когерентность незначительная даже при расстоянии между геофонами 0,5 м.

При оценке использования технологии «снежного стримера» в программе исследований такой недостаток, как повышенный шум при больших скоростях ветра, необходимо рассматривать с учетом экономии средств за счет увеличения производительности труда и уменьшения численности партии. Кроме того, если нельзя поступиться качеством, то же самое соотношение сигнал/шум может быть получено допущением периодов простоя из-за погоды или использованием более мощного источника возбуждения. Если даже принять, что время простоя из-за сильных ветров займет 20% всего времени проведения работ, производительность все равно останется повышенной, поскольку в оставшиеся 80% времени она в 2÷4 раза выше по

сравнению с обычной технологией.

Возбуждение колебаний

При проведении работ в сложных условиях Арктического шельфа, где в силу естественных причин возможности доставки оборудования и расходных материалов ограничены, большое значение имеет выбор эффективного источника возбуждения. Данная проблема подробно рассмотрена в [10]. В ходе экспериментальных работ, проведенных на Антарктическом шельфе, были испытаны различные типы и размеры источников взрывного типа, возбуждаемые как на поверхности, так и в скважинах. Согласно [10] для концентрированных зарядов, взрывааемых на поверхности снега с низкой плотностью, характерно ослабление высокочастотной составляющей спектра возбуждаемых колебаний. При этом для распределенного заряда (детонирующий шнур) этот эффект был менее заметен, особенно, когда шнур был заглублен на 10 см. Это вполне согласуется с данными, приведенными в [9], где дополнительно отмечено, что использование в качестве источника возбуждения колебаний детонирующего шнура хорошо согласуется с технологией проведения работ с использованием «снежного стримера» и обеспечивает высокую производительность работ. Так весь цикл перемещения на следующий пикет (25 – 30 м) и регистрации занимал около 1 минуты. Это конечно большое преимущество технологии «снежного

стримера» и для его реализации требуется использование эффективного источника возбуждения. С использованием детонирующего шнура производительность работ достигала 3 км/час [9].

Дальнейшее развитие технологии выполнения сейсморазведочных работ с использованием буксируемой сейсмической косы, по-видимому, может быть связано с использованием в конструкции буксируемой косы одноканальных телеметрических модулей с встроенными самоориентирующимися сейсмодатчиками и питанием от бортовой сети, а также обеспечением возможности подключения к ним геофонов, устанавливаемых вручную. Комбинирование двух типов регистрации придаст большую гибкость данной технологии, позволит работать при наличии препятствий в виде торосов, морен и т.п. и должно существенно повысить качество регистрируемых данных и надежность работы всей системы.

В настоящее время технология, использующая буксируемую косу («снежный стример»), еще не нашла широкого применения при выполнении сейсморазведочных работ. Однако, можно с большой долей уверенности предположить, что использование данной технологии выполнения сейсморазведочных работ со временем увеличится, поскольку расходы на сейсморазведку необходимо уменьшать, а исследования в северных районах расширяются.

Литература

1. Kruppenbach, J.A. and Bedenbender, J.W. 1976. Towed land cable. US patent no.594590
2. Бевзенко Ю.П. А.с. №329490 кл.42, стр.42. Транспортёр сейсмических приемников. Открытия, изобретения, промышленные образцы, товарные знаки, №7, 1972.
3. Бевзенко Ю.П., Техника и технология многоуровневых сейсмических исследований на севере Западной Сибири. Приборы и системы разведочной геофизики., №2, 2004 г., с.31-35
4. Van der Veen, M. and Green, A.G. [1988] Land streamer for shallow data acquisition: evaluation of gimbal-mounted geophones. *Geophysics*, 63, 1408-1413
5. Van der Veen, M., Spitzer, R., Green, A.G., Wild, P. [2001] Design and application of a towed land-streamer for cost-effective 2D and pseudo-3D shallow seismic data acquisition. *Geophysics*, 66, 482-500
6. A Report On Land Streamers: The last Geophone You Will Ever Plant?, GEOMETRICS [2008],
<ftp://www.geom.geometrics.com/pub/seismic/Literature/LandStreamersV3.pdf>
7. Козловский Н.К., Качагин А.А., Воронцов И.В. Буксируемые косы для исследования ВЧР. Приборы и системы разведочной геофизики, № 4(10), 2004, с.31-33
8. Determann, J., Thyssen, F. and Engelhardt, H. 1988. Ice thickness and sea depth derived from reflection seismic measurements on the central part of Filchner-Ronne Ice Shelf. *Annals of Glaciology* 11, 14-18.
9. Eiken, O., Degutsch, M., Riste, O. and Rød, K. 1989. Snowstreamer: an efficient tool in seismic acquisition. *First Break*, Vol.7, no.9
10. King, E.C. and Jarvis, E.P. 1991. Effectiveness of different shooting techniques in Antarctic firn. *First Break*, vol. 9, no. 6

DSU1

Однокомпонентный цифровой сейсмоприёмник



Однокомпонентный цифровой
сейсмоприёмник Sercel DSU1 - это
вертикально ориентированный цифровой
датчик, основанный на технологии MEMS

Быстрая и простая установка (Патент США 7,730,786)

Оптимальный контакт с грунтом

Интегрирован с системой регистрации сейсмоданных 428XL
(Патент США 6,786,297 и 6,447,319) Nantes, France



Ahead of the CurveSM

sales.nantes@sercel.com

Houston, USA
sales.houston@sercel.com

www.sercel.com

ANYWHERE. ANYTIME. EVERYTIME.

Какой одиночный приёмник лучше?

■ Череповский А.В., Мужно Д.А., SERCEL, г.Москва

От групп геофонов к одиночным датчикам

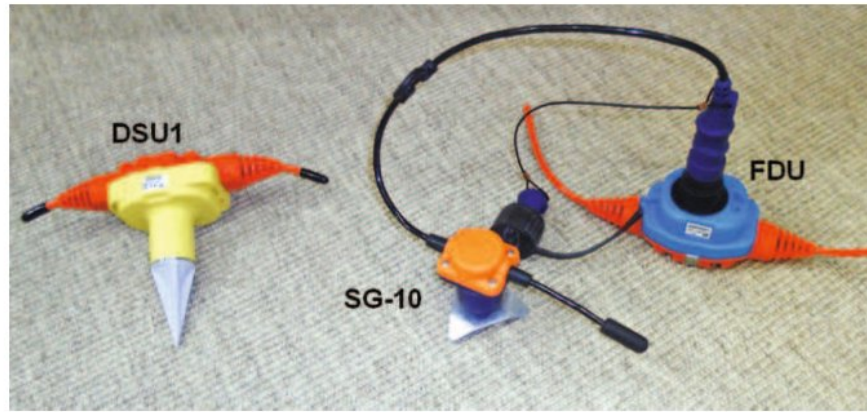
При традиционной профильной и площадной наземной сейсморазведке для регистрации упругих колебаний применяются группы электродинамических сейсмоприёмников (геофонов) и электрические сигналы на выходе соединённых в одну группу приёмников суммируются. Как известно, этот приём обеспечивает ослабление случайных помех, повышение отношения сигнал/помеха и статистически хороший контакт приёмников с грунтом, а также повышает чувствительность, что важно при регистрации слабых отражений от глубокозалегающих границ раздела [1, 2]. В то же время, в некогда очень популярном справочнике геофизика (том «Сейсморазведка», 1981 г.) подчёркивалось, что «выбор группы является компромиссным решением, учитывающим ряд ограничений и противодействующих факторов». Отрицательные стороны группирования стали всё больше проявляться при внедрении площадной и высокоразрешающей сейсморазведки: это и различная степень подавления волн-помех в зависимости от направления источник-приёмник (если группа не изометричная, что очень редко осуществляется на практике); и ослабление высоких частот вследствие статики внутри групп; и искажение амплитуд и частот полезного сигнала на больших удалениях вследствие кинематики внутри групп (из-за неперпендикулярности

выхода лучей на поверхность наблюдений и кривизны волновых фронтов) [3, 4, 9].

Современные сейсморазведочные станции, позволяющие записывать 100000 каналов и более в реальном времени, сделали возможной регистрацию сигнала от каждого сейсмоприёмника как отдельного канала, с последующим лабораторным (цифровым) группированием на этапе обработки. По сравнению с традиционными методиками наблюдений, применение одиночных приёмников с сокращённым шагом между каналами имеет ряд преимуществ – как технологических (меньше вес наземной электроники, выше производительность), так и геофизических (более высокое качество регистрации волнового поля (отсутствие аляйсинга), сохранение высоких частот и истинных амплитуд отражённых волн). Преимущества сейсморазведки с одиночными датчиками очевиднее, когда применяется и одиночный источник [5, 8]. При этом повышение отношения сигнал/помеха (С/П) достигается на более поздней стадии сейсморазведочного цикла – на этапе обработки данных.

При удвоении среднего количества регистрируемых каналов каждые 5 лет, в нашей отрасли наблюдалось применение все меньших групп сейсмоприёмников с целью неискаженной регистрации не только сигнала, но и регулярных помех, и одновременное сокращение интервала

Рис.1. Сравнение интегрированного пункта приёма (DSU1) с традиционным оборудованием (одноканальный модуль FDU, соединённый с одним геофоном SG-10).



ла между пунктами приёма (от 50 до 25 м, а в последнее время и до 12,5 м). Мы полагаем, что для сохранения высокого отношения С/П на окончательных изображениях среды шаг между одиночными датчиками должен быть не больше, чем половина интервала между центрами групп, но и не меньше, чем двойной интервал между отдельными сейсмоприёмниками в группе [10]. Вертикальная разрешённость с одиночными датчиками выше, чем с (большими) группами геофонов, особенно на относительно небольших временах регистрации (до 1,5-2 с). В то же время, на относительно больших временах регистрации (>2 с) преимущества одиночных датчиков обычно невелики или даже отсутствуют из-за высокого уровня случайных помех на исходных записях и более низкой чувствительности одиночных датчиков к слабым полезным сигналам.

Различные одиночные приёмники

При выполнении производственных работ в качестве одиночного датчика может использоваться как обычный электродинамический сейсмоприёмник, соединённый с аналого-цифровым преобразовате-

лем (АЦП), так и группа сейсмоприёмников, установленных «в точке» и также соединённых с АЦП. Но для повышения компактности и надёжности полевого оборудования чувствительный элемент и АЦП лучше разместить в одном корпусе (Рис.1). Одновременно это позволит исключить помехи, связанные с передачей аналогового сигнала по проводам (наводки, взаимные влияния). Поскольку на выходе та-кого датчика сигнал имеет цифровой формат, то датчик и называется цифровым, хотя его чувствительный элемент остаётся аналоговым [11]. По существу, все цифровые датчики используются как одиночные, и их сигналы записываются как отдельные каналы.

Чувствительный элемент цифрового датчика может быть измерителем скорости колебаний частиц грунта (велосиметром) или ускорений (акселерометром). Традиционный электродинамический сейсмоприёмник является, в основном, велосиметром, поскольку генерируемое им напряжение пропорционально скорости колебаний частиц грунта на частотах выше его собственной частоты (например, 10 Гц). В то же время, такие сейсмоприёмники функционируют

как акселерометры на частотах ниже собственной частоты (правда, в этом диапазоне их амплитудно-частотная характеристика имеет спад в 12 дБ на октаву). Имеются сейсмоприёмники собственной частоты которых находятся за пределами сейсмического спектра (например, 200 Гц). Такие геофоны-акселерометры характеризуются более широким линейным амплитудно-частотным спектром в области ускорений, чем традиционные сейсмоприёмники. Однако, их фазовый спектр тоже непостоянен.

Одно из главных преимуществ акселерометров на основе микроэлектронно-механических систем (МЭМС) заключается в том, что при постоянном значении ускорения их амплитудные и фазовые спектры линейны в очень широком диапазоне частот, от 0 Гц (постоянная составляющая) до примерно 800 Гц. Другие преимущества МЭМС-акселерометров приведены в Таблице 1.

Сильный ветер и дождь часто

приводят к остановке полевых работ даже с группами геофонов. Естественно, одиночные приёмники гораздо чувствительнее к ветровой помехе, и для её ослабления рекомендуется прикапывать их или хотя бы заглублять (устанавливать в ямки). Опытные работы консорциума по изучению упругих волн (CREWES), выполненные ещё в 2001 году на открытой местности при силе ветра до 20-25 км/час [6], показали, что для поверхностных датчиков отношение С/П снижается на 3 дБ при усилении ветра на каждые 3 км/час. В то же время оно повышается на те же 3 дБ на каждые 10 см заглубления приёмников.

При необходимости регистрировать очень слабые полезные сигналы (например, при сейсмомониторинге гидроразрыва пласта) целесообразно применять специальные заглубляемые приёмники, такие как DSU-BV (компания Sercel). Они выпускаются в прочном алюминиевом корпусе и снабжены тросом, выдерживающим

Табл. 1.

Характеристика	DSU1	FDU + геофон
Тип чувствительного элемента	МЭМС (микро-электронно-механическая система)	электродинамический сейсмоприёмник
Вес чувствительного элемента, гр	1	~ 75
Общий вес пункта приёма, гр	375	~ 700
Энергопотребление, мВт	170	132
Выходной сигнал датчика	цифровой	аналоговый
Линейная АЧХ, Гц	0 – 800	10 – 250
Искажения, дБ	-90	-62
Идентичность	±0.25%	±2.5%
Температурная зависимость	отсутствует	значительная
Взаимные влияния	нет	возможны
Наводки	нет	возможны
Аппаратурный шум	ниже на высоких частотах	ниже на низких частотах

нагрузку в 500 кг, что позволяет выдёргивать датчики из неглубоких скважин или из промёрзшего грунта.

Амплитуды колебаний, регистрируемых электродинамическими сейсмоприёмниками и МЭМС-акселерометрами, напрямую сравнивать бессмысленно. В области ускорений чувствительность DSU1 постоянна и равна 0.452 В/(м/с²) или 4.43 В/g. В области скоростей чувствительность этого датчика зависит от частоты: она равна 28.4 В/(м/с) на частоте 10 Гц, но имеет градиент +6 дБ на октаву в обе стороны. Многочисленные лабораторные исследования и полевые тесты показали, что после пересчёта в одну и ту же область (скорости или ускорения) данные, зарегистрированные двумя типами датчиков – геофонами и акселерометрами, становятся очень похожими по динамическим характеристикам в диапазоне частот от 5 до 200 Гц, что доказывает их геофизическую эквивалентность [7].

Ожидалось, что МЭМС-акселерометры обеспечат существенное расширение регистрируемого сигнала в сторону более низких частот (5 Гц и ниже), что очень важно как для улучшения изображений среды, так и для более надёжного определения коллекторских свойств. В большинстве случаев практические результаты были разочаровывающими, особенно при взрывных исследованиях. На низких частотах (НЧ) редко наблюдались существенные различия между аналоговыми сейсмоприёмниками и цифровыми датчиками. Причина заключалась в том, что взрывной источник зачастую генерирует высо-

коамплитудные низкочастотные поверхностные волны (от 2-4 Гц), в то время как доля НЧ (ниже 10 Гц) в объёмных упругих волнах очень небольшая. Однако, при съёмках с очень низкочастотными свип-сигналами или с более тщательно подготовленными взрывными скважинами были получены записи с полезной информацией, содержащей НЧ ниже 5 Гц.

Подводя итоги, мы можем сказать, что одиночные датчики регистрируют как полный сигнал, так и весь спектр помех. Но частотный состав данных, полученных с одиночными датчиками, будет шире по сравнению с частотным составом данных, полученных с группами аналоговых сейсмоприёмников, и результирующие сейсмические изображения среды должны иметь более высокое качество. МЭМС-акселерометры, такие как DSU1, получили признание и уже несколько лет используются при производственных съёмках 2D и 3D в Китае, доказывая определённые преимущества этого регистрирующего оборудования. С точки зрения технологичности, их небольшой вес и интегрированность (меньшее количество разъёмов и соединений) очень удобны, особенно при выполнении полевых работ с применением вертолётов. Цифровые датчики DSU1 полностью совместимы с современными регистрирующими кабельными и бескабельными системами (такими как 428XL и UNITE) и не требуют никакой специальной адаптации. Они могут использоваться даже в смешанных приёмных расстановках, состоя-

щих из обычных одноканальных модулей FDU, соединённых с аналоговыми сейсмоприёмниками, и однокомпонентных (1C) или трёхкомпонентных (3C) цифровых датчиков. Возможен контроль качества таких комбинированных сейсмограмм в реальном времени – для сравнения трасс, записанных аналоговыми сейсмоприёмниками и цифровыми датчиками, приведёнными (интегрированными) к скоростям.

Практика показала, что одиночные цифровые датчики позволяют получить более уверенные данные для AVO-анализа. В случае возрастания амплитуды отражения с удалением (AVO-аномалии класса 3), применение цифровых датчиков обеспечивает сохранение «ярких пятен» на суммарных разрезах и выделение маломощных газонасыщенных коллекторов

[12]. Сулижское месторождение газа в бассейне Ордос – это самое большое низкосернистое месторождение газа в Китае. Коллектор в этом бассейне представлен неоднородным чередованием маломощных флювиальных песчаных тел, не выделяемых по данным обычной сейсморазведки. Из-за небольших запасов газа в каждом пласте и относительно большой глубины (3300 м), процент успешного бурения был недостаточно высоким (62%) для экономической разработки месторождения. Необходимо было прибегнуть к методам прямого обнаружения газа. Был отстрелян опытный профиль с цифровыми датчиками DSU1 с шагом 10 м, – вместо площадных групп сейсмоприёмников по 36 штук, – и на сейсмограммах удалось сохранить полезную информацию до удалений 5000 м. Было установлено,

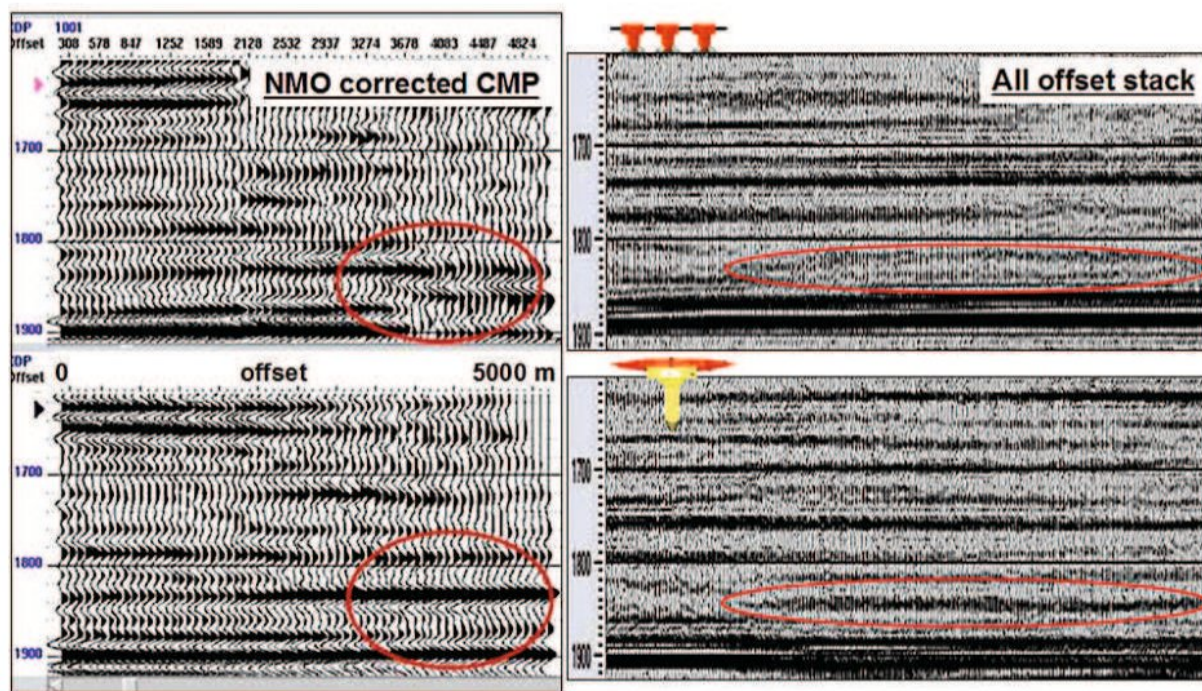


Рис.2. Сравнение сейсмограмм с введенными кинематическими поправками (слева) и соответствующих суммарных разрезов (справа). Верхние изображения получены с группами геофонов, а нижние – с одиночными акселерометрами. ▲

что амплитуда отражения от коллектора значительно возрастает с удалением (рис.2). Такие данные не были получены ранее с большими группами аналоговых сейсмоприёмников.

После обработки данных, включавшей AVO-анализ, суммирование дальних трасс и упругую инверсию, прямое обнаружение газа стало возможным. Эта же методика полевых работ была распространена на тысячи погонных км профилей с одиночными датчиками. В результате, процент успешного бурения скважин повысился до 94.4%. Это позволило компании PetroChina утроить добычу газа на данном месторождении в 2007 году от 1,3 до 4 млрд. кубометров.

Многочисленные опубликованные практические примеры убеждают, что одиночные цифровые датчики лучше сохраняют амплитуды отражений, что даёт возможность повысить надёжность инверсии и уточнить расчёт коллекторских свойств. Однако приходится констатировать, что спустя 10 лет после своего появления, МЭМС-акселерометры занимают не больше 5% на мировом рынке и все еще относятся к высокотехнологичной нише. И мы не ожидаем, что в обозримом будущем такие одиночные датчики полностью вытеснят традиционные группы сейсмоприёмников, по крайней мере, на площадях с высоким уровнем помех или глубокозалегающими целевыми объектами (слабые отражения). Высокая цена цифровых датчиков также сдерживает их широкое внедрение. Но линейка этих датчиков расширяется и теперь они

могут использоваться с кабельными и бескабельными регистрирующими системами в самых разнообразных условиях работ: от донных наблюдений на море и в переходных зонах до болот и гор на суше.

Мега-партии и одиночные приёмники

Мега-партиями можно назвать такие сейсмические партии, в которых используется больше 10000 активных каналов. Обычно в мега-партиях используются одиночные геофоны или акселерометры. На территории бывшего СССР на текущий момент была выполнена только одна крупная съёмка с высокой плотностью наблюдений (3,3 млн. трасс на кв. км) мега-партией компании «Азимут Энерджи Сервисез» (AES), подразделения компании «Интегра», – в Казахстане на месторождении Карачаганак. Но там заказчик предпочёл круглые группы из 9 геофонов, а не одиночные акселерометры, из-за очень большой глубины исследований и, соответственно, очень больших расстояний источник-приёмник (до 9000 м).

Мы полагаем, что в ближайшие годы в России и СНГ интерес к сейсморазведке с высокой плотностью, широкими азимутами и одиночными цифровыми датчиками существенно вырастет, особенно в регионах со сложными поверхностными и сейсмогеологическими условиями, где традиционные методики сейсморазведки 3D не позволяют получить информативные изображения среды. Для наземной сейсморазведки нового поколения мы готовы предложить

наш датчик DSU1 в сочетании с самой популярной на рынке регистрирующей системой 428XL. Мы видим следующие «за»:

- система 428XL с датчиками DSU различных модификаций используется в производственных работах во всем мире с 2006 года;

- система 428XL позволяет записывать до 200000 каналов в реальном времени с шагом дискретизации 2 мс, в формате SEG-D;

- система 428XL с датчиками DSU1 и кабелями ST+ легче любой другой наземной сейсморегистрирующей системы на 30%;

- датчики семейства DSU основаны на передовой технологии MEMS (нет эффектов старения, температурной зависимости, электромагнитных наводок);

- кабельная система 428XL полностью совместима с бескабельной системой UNITE, которая может быть предпочтительнее на экологически чувствительных территориях, в условиях развитой инфраструктуры и высокой плотности населения;

- наличие сети центров поддержки пользователя и ремонтных баз на всех континентах.

Литература

1. Мужно Д., Череповский А.В., 2009, Цифровые акселерометры и их влияние на сейсморазведку. – «Приборы и системы разведочной геофизики», Саратов, №04 (30) / 2009, с.18-22.

2. Череповский А.В., 2010, Пришло ли время отказаться от группирования в пользу одиночных сейсмоприёмников? – «Геофизика», №3, 2010, с.22-28.

3. Череповский А.В., 2011, Повышение эффективности сейсморазведки путём применения одиночных сейсмоприёмников. – Тезисы 13-ой конференции по проблемам комплексной интерпретации геолого-геофизических данных Геомодель-2011, Геленджик, 11–15 сентября 2011 г.

4. Череповский А.В., 2012, Сейсморазведка с одиночными приёмниками и источниками: обзор современных технологий и проектирование съёмок. – Образовательное турне EAGE, Москва, 133 с.

5. Baeten G. and van der Heijden H., 2008, Improving S/N for high frequencies. – The Leading Edge, vol.27, p.144-153.

6. Bland Henry C. and Gallant Eric V., 2001, Wind noise abatement for 3-C geophones. – CREWES Research Report, Vol.13.

7. Hons, M.S., Stewart, R.R., Hauer, G., Lawton, D.C. & Bertram, M.B., 2008, Accelerometer Versus Geophone response – A Field Case Study: 70th EAGE Conference & Exhibition, Rome, 9-12 June 2008, Extended

Подробнее об авторах



Череповский А.В.,
Региональный геофизик
компании Sercel, к.т.н;



Мужно Дени
Главный геофизик
компании Sercel

MEMS акселерометр

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

Геофоны, изготавливаемые с использованием MEMS технологии, относятся к группе цифровых датчиков, к которой, в принципе, можно отнести любой датчик, в котором чувствительный элемент и АЦП размещены в одном корпусе. Отличительной особенностью MEMS акселерометров является то, что в данном акселерометре датчик ускорения встроен в сигма-дельта аналого-цифровой преобразователь и составляет с ним единое целое.

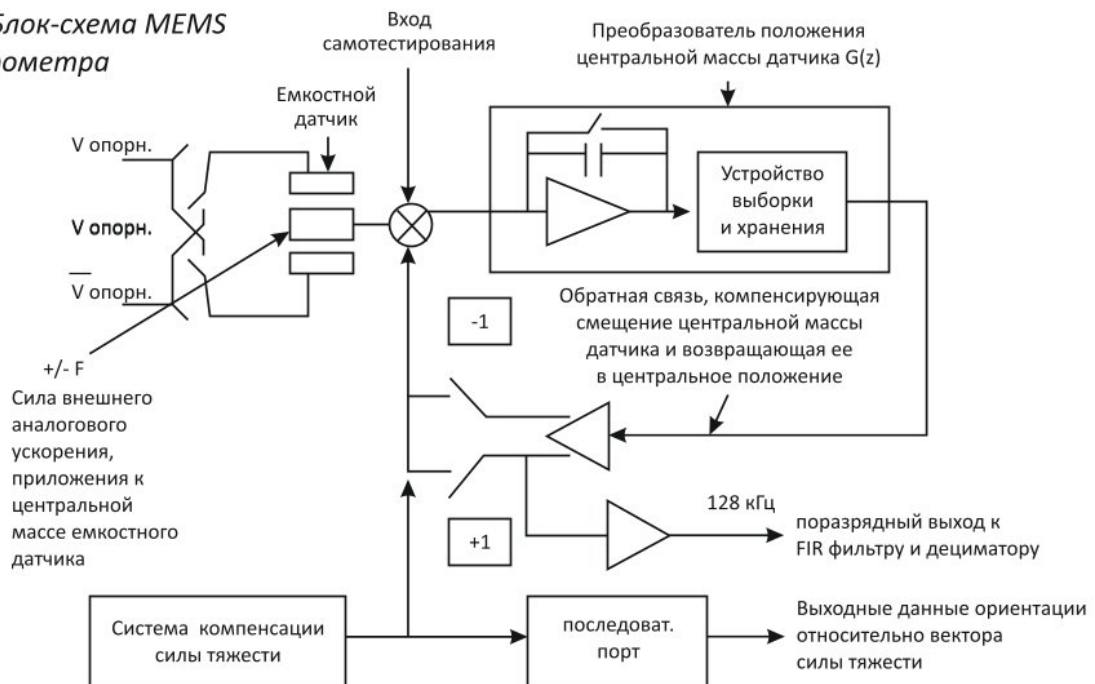
Перейдем к рассмотрению принципа работы MEMS акселерометра.

Блок-схема MEMS акселерометра представлена на рис. 1

шена к каркасу на кремниевых пружинах и является подвижным электродом конденсатора. Верхняя и нижняя пластины конденсатора прикреплены к каркасу и являются неподвижными электродами конденсатора. Для снижения влияния броуновского движения молекул газа датчик герметизирован в вакууме.

В MEMS геофонах-акселерометрах датчик используется вместо входного узла суммирования, имеющегося в стандартных сигма-дельта АЦП, являясь составной частью цепи обратной связи сигма-дельта АЦП 5-го порядка, который считается лучшим среди сигма-дельта АЦП. Подробно работа

► Рис. 1 Блок-схема MEMS акселерометра



Чувствительным элементом MEMS акселерометра является конденсатор с переменной емкостью. Две кремниевые пластины образуют каркас. Центральная эталонная масса пове-

сигма-дельта АЦП рассмотрена в разделе, посвященном АЦП.

Таким образом, движение корпуса акселерометра непосредственно отслеживается массой центрального

электрода конденсатора датчика. Центральный электрод смещается из своего центрального положения, что нарушает соотношение потенциалов обкладок конденсатора. Соответственно, порция заряда по цепи обратной связи поступает на центральный электрод и возвращает его в центр конденсатора. Цикл коррекции этой поразрядной системы обратной связи работает с частотой 128 кГц. Поразрядный сигнал коррекции (последовательность 1 и -1(0)) и явля-

ется выходным сигналом сигма-дельта модулятора АЦП.

После подачи питания на датчик перед началом нормального рабочего режима встроенная система компенсации осуществляет компенсацию силы тяжести с учетом значения ускорения силы тяжести в месте установки датчика, существующего угла наклона установки и смещения по постоянному току, смещая эталонную массу в центр конденсатора. Затем начинает действовать сигма-

Табл. 1 ►

Наименование технического параметра	Значение технического параметра
Функции	Измерение ускорения и передача данных с контролем циклическим кодом 24 –х разрядное преобразование
Полная шкала (Пик&пост.ток)	5 м/с@наклон 0°
Макс. наклон	+/- 180°
Шум (10 – 200 Гц)	0.4 $\mu\text{м}/\text{с}^2 / \sqrt{\text{Гц}}$
Динамический диапазон системы	120 дБ @ 4 мс
Период квантования	4, 2, 1, 0.5, 0.25 мс
Частотный диапазон	0 – 800 Гц, до 1600 Гц (с ухудшением характеристик)
КНИ	- 90 дБ
Потребляемая мощность	285 мВт @ 8 Мб/с 300 мВт @ 16 Мб/с
Точность калибровки ортогональности	+/- 0.25°
Точность калибровки амплитуды	+/- 0.25 %
Измерение наклона	+/- 0.5°
Тесты при включении (статические тесты)	Наклон, значение ускорения силы тяжести, шум
Встроенные динамические тесты датчика	КНИ, усиление, фаза
Размеры	159.2 x 70 x 194 мм
Вес	0.43 кг
Рабочий диапазон температур	- 40° - +70°C
Температура хранения	- 40° - +70°C
Глубина погружения в воду	15 м (с кабелем WPSR) 1 м (с кабелем ST+)

дельта обратная связь, динамически отслеживая приложенное ускорение, компенсируя смещения эталонной массы и удерживая ее в центре конденсатора. Система компенсации силы тяжести компенсирует любое смещение по постоянному току или любое изменение угла установки путем добавления смещения по постоянному току в поразрядный поток данных. В нормальном режиме поразрядный поток данных будет иметь смещение приблизительно равное 7 mg. Это смещение предотвращает появление гармоник состояния покоя в представляющем интерес частотном диапазоне.

Если комбинация динамического ускорения и смещения по постоянному току превышает приблизительно ± 200 mg, преобразователь перегружается. Это приводит к потере управления обратной связью эталонной массы и запускает режим автоматического восстановления датчика после перегрузки. Последовательность процедур восстановления после перегрузки включает процедуры центрирования эталонной массы и смещения по постоянному току. Обаим процедурам требуется для выполнения в среднем 650 мс. Значение смещения эталонной массы из-за силы тяжести и калибровочные значения датчика запоминаются в EEPROM в ASIC (специализированная интегральная микросхема). Отдельный микроконтроллер обеспечивает легкий доступ к регистрам ASIC через порт RS-232 и с помощью простых ASCII команд. Контроллер обеспечивает также выполнение функции запуска и

восстановления после перезагрузки.

Затем поразрядный выход ASIC может быть заведен в DSP с цифровым FIR фильтром для выполнения антиалиасной фильтрации для выбранного периода квантования и устранения высокочастотного шума квантования. Полученный сигнал может быть с помощью процедуры децимации приведен к 24-х разрядному цифровому слову для заданного периода квантования. DSP обеспечивает также ФВЧ фильтрацию.

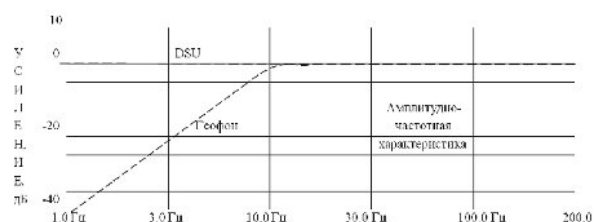
В настоящее время лишь две геофизические компании – Sercel (Франция) и ION (США) поставляют Заказчикам сейсморегистрирующие системы с MEMS геофонами-акселерометрами.

Sercel

Датчик Sercel DSU - это результат совместной работы трех компаний: LETI (ведущая европейская лаборатория в области микротехнологий) - научно-технические исследования; TRONIC's Microsystems – изготовитель; Sercel – Заказчик и испытания датчика. Работы были начаты в 1995 г. Технические параметры DSU представлены в таблице 1 [1].

Датчик DSU выпускается как в однокомпонентном варианте – DSU-1, так и трехкомпонентном варианте – DSU-3.

На рисунке 2 представлены сравни-



▲ Рис. 2 Линейная характеристика: Низкочастотные характеристики геофона и DSU

Табл. 2 ▼

Наименование технического параметра	Значение технического параметра
Цифровое преобразование	324 разряда (23 + знак) LSB=0.39 $\mu\text{м/с}$
Период квантования	4, 2, 1 мс
Полная шкала	+/- 3.3 м/с(при любом наклоне)
Шум (3 – 375 Гц)	0.44 $\mu\text{м/с}^2 / \sqrt{\text{Гц}}$
Динамический диапазон	118 дБ @ 4 мс, 115 дБ @ 2 мс, 112 дБ @ 1 мс (от 3 Гц до $\frac{3}{4}$ частоты Найквиста при любом наклоне)
Частотный диапазон	1450 Гц @ 4 мс, 1463 Гц @ 2 мс, 1470 Гц @ 1 мс (до $\frac{3}{4}$ частоты Найквиста)
Цифровые антиалиасные фильтры	93.8 Гц @ 4 мс 187.5 Гц @ 2 мс 375 Гц @ 1 мс подавление выше частоты Найквиста -128 дБ
Цифровой ФВЧ	32 частоты среза (диапазон 3–90 Гц) Крутизна подавления - 12 дБ/окт
Цифровой фильтр смещения	Либо постоянный фильтр: 1450 Гц @ 4 мс 1463 Гц @ 2 мс 1470 Гц @ 1 мс Крутизна подавления 6 дБ/окт Компенсация смещения по пост.току
КНИ	< 0.002% @ 12 Гц, 68.4 мг пик.уск.
Идентичность датчиков	+/- 0.4 % при любом наклоне ⁴
Развязка от поперечных воздействий	6 дБ
Установка	Любая ориентация
Встроенные тесты при включении	Проверка включения датчика и выполнения операции конфигурации Контроль цепи обратной связи Измерение гравитационной постоянной Потребляемая мощность Проверка True Digital характеристики системы тестом обратной связи цифрового датчика
Тесты, контролируемые оператором	Ориентация по вертикали Шум расстановки Проверка работоспособности канала передачи данных и цифровых фильтров Подсчет ошибок в телеметрическом канале
Тесты по окончании каждой записи	Перегрузка Вертикальная ориентация Смещение датчика Наличие признаков ошибок
Рабочий температурный диапазон	- 40° - +70°С
Глубина погружения в воду	До 15 м
Размеры	165 x 50 x 69 мм
Вес	0.625 кг

тельные амплитудно-частотные характеристики низкочастотного электродинамического геофона и датчика DSU.

ION

Разработка MEMS акселерометра VectorSeis компании ION (ранее Input-Output) длилась 15 лет. Технические параметры VectorSeis представлены в таблице 2 [2].

Сравнение электродинамических геофонов и MEMS акселерометров

MEMS акселерометры по своей природе являются точечными приборами. Этот факт накладывает определенные ограничения на использование данного типа датчиков при выполнении 1-С наблюдений, поскольку использование дорогих одиночных датчиков, изготовленных с использованием MEMS технологии, с высокой плотностью размещения для решения проблем, связанных с поверхностными волнами, является достаточно дорогим удовольствием. Вот почему возможность широкого использования MEMS акселерометров в основном связывают с выполнением 3С наблюдений. Некоторые рекламируемые свойства MEMS акселерометров, связанные с их использованием при многокомпонентных наблюдениях, в целом выглядят так:

- прямой цифровой выход;
- улучшенная векторная точность; хорошая линейная амплитудно-фазовая характеристика в широком частотном диапазоне;
- низкий уровень собственных шумов датчика;
- измерение наклона датчика;

- большой динамический диапазон; незначительное потребление питания;
- рабочая эффективность; точечная регистрация.

Оценим вышеперечисленные утверждения с учетом того, что могут предложить современные электродинамические геофоны [3].

Прямой цифровой выход

При достаточно плотном размещении датчиков аналоговые связи должны быть короткими. Таким образом, едва ли это утверждение для цифровых датчиков дает им большое преимущество по сравнению с 3С геофоном с небольшим соединительным кабелем.

Улучшенная векторная точность

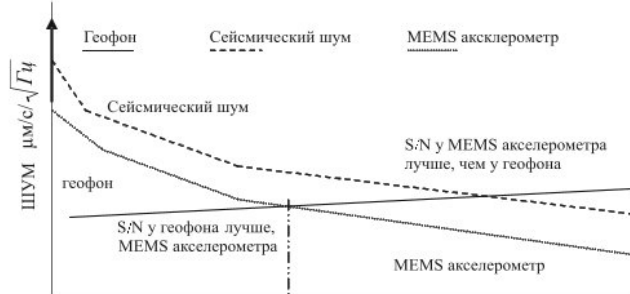
Алгоритмы векторной точности предназначены для обеспечения точной ориентации 3С данных путем их преобразования с использованием данных о G, регистрируемых MEMS акселерометрами, и здесь многое определяется возможностями адаптивных фильтров. Они могут быть хорошим инструментом распознавания сигналов, имеющих трехкомпонентные характеристики поведения, таких как поверхностные волны.

При этом, согласно [4] интервалы одиночных датчиков должны быть не более половины интервала группы геофонов. Уменьшение интервала между приемниками в 2 – 3 раза является эффективным решением для устранения случайного шума. Для подавления когерентного шума, такого как поверхностная волна, имеется два решения. Одно решение заключается в уменьшении интервала

между одиночными приемниками до значения, меньшего половины периода поверхностной волны. Это решение очень дорогое. Особенно для 3D наблюдений. Другое решение связано с использованием поляризационных фильтров [5]. Поляризационные фильтры используют зарегистрированные горизонтальные компоненты данных для подавления поверхностной волны в вертикальной компоненте и наоборот. Но многие коротковолновые шумы, такие как граничные волны, рассеянная прямая волна и головные волны, зачастую имеют одну моду колебаний и не могут быть отфильтрованы поляризационными или адаптивными фильтрами. Так что возможности и этой методики ограничены.

Линейная амплитудно-фазовая характеристика в широком частотном диапазоне

Низкочастотная характеристика MEMS акселерометров является одним из основных их преимуществ и в этой области геофоны с их ослаблением 12 дБ/октава могут конкурировать с трудом. Правда, извлечь пользу из очень низких частот из-за различного вида поверхностных волн, которые доминируют в этой части спектра, зачастую не



▲ Рис. 3 Сравнение электрического шума геофона с шумом MEMS акселерометра (область скорости)

представляется возможным.

Шум датчика

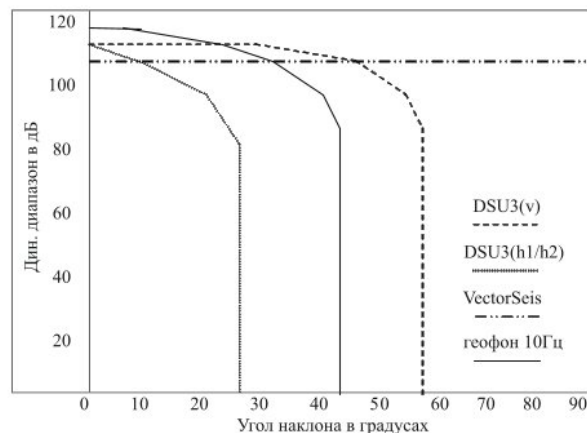
На рисунке 3 представлены зависимости шума от частоты для геофона и MEMS акселерометра. При сравнении электрического шума одиночного геофона и шума MEMS акселерометра с типовым сейсмическим шумом видно, что до 40–50 Гц геофоны ведут себя лучше MEMS акселерометра. Но в то время как MEMS акселерометры могут использоваться в поле лишь как точечные датчики, геофоны такого ограничения не имеют и при использовании короткой группы уровень шума может быть снижен.

Наклон датчика

MEMS акселерометры имеют возможность путем измерения G определять отклонение их установки от вертикали. Конечно, знание наклона в некоторых случаях очень полезно.

На рисунке 4 показана зависимость динамического диапазона геофона и MEMS акселерометра от угла наклона [3].

Из Рис. 4 видно, что зависимости динамического диапазона от угла наклона у различных вариантов MEMS



▲ Рис. 4 Зависимость динамического диапазона геофона и MEMS акселерометров от угла наклона

акселерометров отличаются друг от друга.

Согласно [3] при регистрации вертикальной составляющей допускается отклонение геофона от вертикали, по меньшей мере, до 35°.

Динамический диапазон

Общий динамический диапазон MEMS акселерометров примерно равен 120 дБ. Механика обеспечивает геофону общий динамический диапазон равный 140 дБ. Однако мгновенный динамический геофона, с учетом КНИ, существенно ниже, достигая 80 дБ при КНИ, равном 0.01%. Вместе с тем, при регистрации слабых сигналов в присутствии сильных шумов группа геофонов в основном более эффективна, чем одиночный датчик. Группа геофонов улучшает динамический диапазон в $10 \times \log N$ дБ, поскольку окружающий шум уменьшается в N , в то время как одиночный датчик не в состоянии ослабить окружающий шум или шум, связанный с возбуждением.

Потребление питания

Геофоны, даже при 3С наблюдениях, не требуют для работы аккумуляторов, в то время как для MEMS акселерометров питание необходимо постоянно. Для систем с передачей питания через кабели приемных линий это является проблемой, поскольку общая используемая энергия не просто соотносится со временем, в течение которого включены MEMS акселерометры, она также пропорциональна длине кабеля и квадрату используемого тока. По этой причине в системах с подачей питания по кабелю аккумуляторы разряжаются значительно быстрее, чем это можно

было бы ожидать, исходя из их параметров потребляемой мощности. В целом, проблема потребления энергии может стать даже более критичной для работ, в которых используются появившиеся системы с «непрерывной регистрацией». Здесь каждый наземный модуль имеет внутреннюю память и работает автономно до 3 недель.

Подводя итог выше сказанному, можно констатировать, что MEMS акселерометры, по крайней мере в существующем исполнении, могут использоваться лишь как точечные датчики для выполнения 3С наблюдений. Имеются примеры, когда уникальные технические возможности MEMS акселерометров могут быть очень полезными для выполнения 3С наблюдений и есть примеры, когда недостатки, присущие этой технологии, препятствуют этому применению. Можно также отметить, что до тех пор, пока на данную технологию будет монополия двух компаний, о широком применении MEMS акселерометров в выполнении геофизических работ говорить не приходится.

Литература

1. Sercel 428XL Specifications, 2008
2. System Four, проспект компании ION, 2004
3. Heath R.G., Time to re-evaluate our approach to 3C land seismic acquisition, V.25, February, 2007
4. M.Lansley, M.Laurin, S.Ronen. Land 3D: groups or single sensors? Cables or radio? Geophysical and operational considerations
5. D.E. Meersman, K., R.Kendall. A complex SVD-polarization filter for ground roll attenuation on multi-component data: 67th Annual



ООО «ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ДАННЫХ»

+7 (495) 234 27 94

info@gds.ru

www.gds.ru

ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ ЦИФРОВАЯ
СИСТЕМА УПРАВЛЕНИЯ
ВИБРОИСТОЧНИКАМИ

GDS-I[®]

Напряжение питания	: 9-36 В постоянного тока
Потребляемая мощность	: 16 Вт
Законы изменения частоты	: АВИС [®] , линейный, нелинейный, низкочастотный
Частотный диапазон	: от 1 до 250 Гц
Начальный и конечный конус	: Cosine и Blackman (шаг 0,1 сек)
Макс. число вибраторов	: 16
Точность времени старта	: ± 25 мксек
Чувствительность аксел.	: 25 мВ/г
Точность генератора	: 0.1 ppm
Встроенная GPS	: JAVAD TR-G2, TR-G3
Габариты	: 290 × 280 × 200 мм
Вес	: 7 кг
Рабочая температура	: от 0 до +60 °С
Температура хранения	: от -40 до +70 °С



Новая сертифицированная специализированная система управления виброисточниками GDS-I[®], оснащенная радиосвязью и системой спутниковой навигации

- ▶ поддержка «АВИС[®]» - новой, не имеющей аналогов технологии проведения полевых работ;
- ▶ полная совместимость со всеми типами гидравлических вибраторов;
- ▶ запись сигналов вибратора на USB-flash для обработки и контроля качества;
- ▶ улучшенное возбуждение низких частот с пониженными нелинейными искажениями;
- ▶ оперативный и статистический контроль качества работы источников;
- ▶ автоматическая калибровка;
- ▶ стабильное и высокоточное управление силой и фазой;
- ▶ использование спутниковой навигации (встроенные GPS/GLONASS приемники) при проведении полевых работ и для обработки полевого материала



Малогабаритный сейсмоприемник СПВ-3к

■ Марченков А.Ю. Институт физики земли РАН,
Мишин А.В., Пастухов В.В., Семейкин Н.П., Трушков В.Н., ООО «Логические системы»

Малогабаритный сейсмоприемник СПВ-3к представляет собой развитие идей ёмкостного короткопериодного сейсмометра КМВ. Механическая конструкция прибора выполнена по современным технологиям, позволяющим выпускать сейсмоприемник серийно. Конструкция сейсмоприемника обеспечивает удобство работы с ним в широких температурных условиях и влажности, а так же высокую надёжность прибора. Современная элементная база и схемотехника прибора обеспечивают высокий динамический диапазон для инженерных исследований. Проведена экспериментальная оценка шумов

В сейсмометрии, как и в инженерных исследованиях, при техническом контроле уровня колебаний промышленных объектов и площадок, зданий и сооружений в области частот 0.5...60 Гц имеется спрос на современные надежные малогабаритные датчики для измерения колебаний. До последнего времени в отечественной практике применялся электродинамический сейсмоприемник СМ-3 и, в основном, в строительстве - С-5-С. К основным недостаткам при использовании этих сейсмометров в инженерных и полевых приложениях следует отнести (на примере СМ-3): большой вес (6 кг) и габариты (230x170x145 мм) на каждую компоненту; необходимость при проведении измерений колебаний производить время от времени ручную регулировку положения подвижной части сейсмометра для сохранения его в рабочем состоянии. Задача разработки сейсмометра с более приемлемыми для инженерных и полевых исследований характеристиками, чем у СМ-3, была поставлена в 1997 году и прототип устройства описан в [1].

Прототип под названием КМВ долгое время выпускался отдельными экземплярами в ИФЗ РАН лабораторией сейсмометрии и применялся различными организациями и группами исследователей для проведения наблюдений как геолого-геофизических и инженерно-геологических, так и инженерных. За период эксплуатации КМВ были накоплены замечания по различным характеристикам прибора и отрабатывались пути их устранения.

Основным недостатком КМВ являлось использование в качестве рабочей массы и магнитоэлектрического преобразователя готового узла сейсмометра СВ-5, каковые с начала 90-х годов прошлого века и по настоящее время не выпускаются.

Руководство ООО «Логические системы» поставило задачу создать на основе прототипа инженерный сейсмометр, все элементы которого производятся по разработанной Обществом оригинальной конструкторской документации или могут быть закуплены. Последнее относится к позициям, соответствующим электро-

нным компонентам прибора. Вся механическая часть изготавливается, включая пружины, магнитоэлектрический преобразователь с магнитом, корпус сейсмометра. Электронная часть прибора спроектирована с учетом использования современной элементной базы.

В результате, ООО «Логические системы» производит малыми сериями новый велосиметр СПВ-3к, который призван заменить указанные выше приборы в обозначенных областях применения. Он лишен многих недостатков и содержит в одном корпусе 3 измерительных компоненты: одна вертикальная, две горизонтальных.

Велосиметр СПВ-3к представляет собой сейсмоприёмник (в дальнейшем СП) с активным ёмкостным преобразователем в каждом канале. Такое решение позволило уменьшить габариты и массу. Высокая собственная частота колебаний (10 Гц) маятника датчиков позволила сделать сейсмоприёмник более технологичным, т.к. применены современные методы изготовления пружин. Несомненным преимуществом новой конструкции является малый ход подвижной части (массы и присоединённых деталей) как в рабочем, так и в ортогональном рабочему направлениях. Это позволяет без лишних проблем осуществлять транспортировку СП до места установки и исключает вероятность механического повреждения элементов конструкции. СП выполнен по классической схеме сейсмоприёмника с ёмкостным преобразователем в измерительном мосте. Основным

элементом СП является датчик, который представляет собой ёмкостный дифференциальный преобразователь со средней подвижной обкладкой – ротором и двумя неподвижными обкладками – статорами. Ротор датчика жестко связан с инерционным элементом – массой, которая, в свою очередь, связана с корпусом посредством фасонных пружин. На статорные обкладки подаётся опорное напряжение высокостабильного генератора. При этом колебания ротора вызывают амплитудную модуляцию, которая выделяется с помощью синхронного детектора. Для обеспечения большого динамического диапазона датчика (100 дБ) в схеме СП применен маломощный усилитель, который позволяет принимать сигналы уровня $3,75 \cdot 10^{-8}$ м/с. Для обеспечения требуемых амплитудной и фазовой частотных характеристик (АЧХ и ФЧХ) СП и формирования сигнала на выходе пропорционального скорости, действующей вдоль измерительной оси СП, используется электромеханическая отрицательная обратная связь (ООС). Для коррекции сигнала ёмкостного преобразователя сигнал ООС подаётся на катушку электромагнитного преобразователя жестко связанного с массой датчика. Таким образом, осуществляется непрерывная коррекция АЧХ СП. Большим преимуществом СП, построенного по схеме параметрического преобразователя с ООС, является отсутствие постоянной составляющей в выходном сигнале СП. Таким образом, допускаются небольшие отклонения СП при эксплуатации от рабоче-

го (вертикального или, соответственно, горизонтального) положения осей без перегрузки выходного сигнала. При этом постоянное смещение будет оставаться в пределах нескольких милливольт и выходной сигнал не ограничится. При возникновении сильных внешних воздействий СП восстанавливает свою работоспособность в течение нескольких секунд.

Для обеспечения оперативной поверки сейсмоприемника в полевых и стационарных условиях в состав СПВ-3к входит генератор калибровочных импульсов. Управление генератором осуществляется с помощью внешнего сигнала, который вырабатывает регистратор сейсмических сигналов, осуществляющий запись сигналов СП. Внешний вид сейсмоприёмника СПВ-3к представлен на рис.1.

Малые габариты датчика СПВ-3к позволяют разработать малогабаритный скважинный велосиметр, работа над которым в настоящее время ведется в ООО «Логические системы».



Рис.1. Внешний вид сейсмоприёмника СПВ-3к. ▲

В процессе отработки производства на этапе рабочего образца прибор был продемонстрирован специалистам ГС РАН и ИФЗ РАН. Получен ряд ценных замечаний, после устранения которых была проведена запись микросейсмического фона в штольне Центральной обсерватории ГС РАН параллельно СПВ-3к и GURALP CMG-3Т. На рис. 2 показаны спектры этой записи.

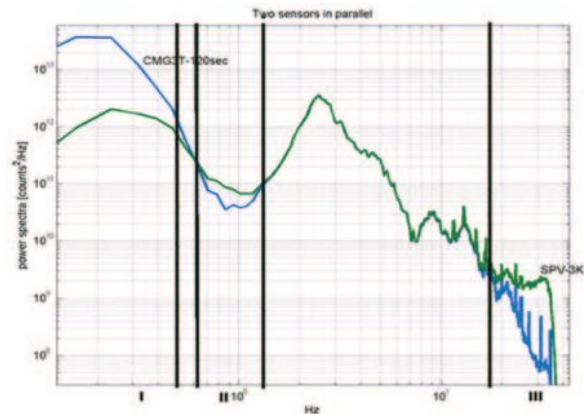


Рис. 2. Спектры параллельной записи микро-сейсмических шумов сейсмоприёмниками СПВ-3к и CMG-3Т (вертикальная компонента) ▲

Конечно, шумы обсуждаемого сейсмометра на низкочастотной и высокочастотной границах рабочего диапазона выше, чем у прецизионного CMG-3Т, что видно из сравнения спектров, диапазоны II и III. Однако, для инженерно-геологических и инженерных измерений такой уровень шумов вполне допустим, т.к. исследуемые сигналы существенно выше уровня микросейсм.

Со стороны исследователей из ИФЗ РАН были вопросы к расположению кабельного вывода СПВ-3к и к жёсткости самого кабеля. На наш взгляд,

▼ Технические характеристики СПВ-Зк.

Тип преобразователя	емкостной;
Число компонент	3 (одна вертикальная, две горизонтальных);
Диапазон частот по уровню –3дБ, Гц	0.5...65;
Неравномерность АЧХ не более 1 дБ в диапазоне частот, Гц	0.6...45;
Динамический диапазон, не менее, дБ	100;
Коэффициент преобразования В*с/м	400;
Максимальная амплитуда сигнала на симметричных выходах,	±3,5;
Постоянная составляющая на выходе, не более, мВ	±10;
Допустимое отклонение СПВ-Зк от вертикали, градусов	±15;
Напряжение питания (варианты исполнения):	
а.двухполярное стабилизированное, В	±5.5;
б.однополярное нестабилизированное, В	6...25;
Потребляемая мощность, Вт	0,65;
Диаметр, мм	160;
Высота (с ручкой), мм	135;
Масса (без кабеля), кг	2,9;
Диапазон рабочих температур, градусов С	-30...+55;
Пылевлагозащищённость	IP67 (герметично).

настоящее расположение вывода вполне удобно, т.к. предложенное (сверху) увеличивает рычаг, на котором действует свободная часть кабеля при наземном (не прикопанном) расположении сейсмоприёмника. Жёсткость кабеля - минимальная, при которой кабель соответствует диапазону рабочих температур прибора - менее жёсткие кабели не сертифицированы для работы при отрицательных температурах.

Кроме того, в 2012 г. сейсмоприёмник СПВ-Зк прошёл исследования с целью утверждения типа средства измерений во ВНИИМ им. Д.И.Менделеева, подтвердившие обозначенные выше характеристики и позволяющие

перейти от наблюдений колебаний, что характерно для сейсмологии как науки, к измерению параметров колебаний, что, соответственно, расширяет возможности применения прибора в инженерно-технических приложениях.

Литература

1. Марченков А.Ю., Межберг В.Г., Рыков А.В. Уломов И.В. М., Трехкомпонентный велосиметр КМВ., в сб. Сейсмические приборы, ОИФЗ РАН, 1997, вып.29, стр.3-9.

Сейсмические датчики на принципах молекулярно-электронного переноса в твердотельных и жидкостных микроструктурах

- Агафонов В. М.1,2), Криштоп В. Г.1,3), Егоров И. В.2),
 1) МФТИ, г. Долгопрудный, 2) ООО "Р-сенсорс", г. Долгопрудный,
 3) Институт проблем технологии микроэлектроники и особочистых материалов
 РАН, Московская обл, Ногинский р-н, Черноголовка

Традиционная конструкция сейсмического датчика включает в себя массу, подвешенную на пружине, закрепленной на жестко связанном с корпусом основании. При наличии колебательного движения корпуса, вызванного сейсмическим сигналом, на массу действуют силы инерции, заставляющие массу перемещаться относительно основания. Относительное движение инерциальной массы измеряется преобразователем, наиболее распространенный из которых использует для преобразования сигнала явление электромагнитной индукции. Датчики такого типа (геофоны) широко используются в сейсморазведке многокомпонентных измерений. В последнее время, ряд производителей сейсмического оборудования за рубежом, компании Sercel и IONgeo, вывели на рынок трехкомпонентные сейсмические MEMS-акселерометры. Известно о проведении аналогичных работ в компании Hewlett-Packard при финансировании и техническом участии Shell. Несомненным результатом использования датчиков таких типов является повышение общей точности сейсморазведочных данных как за счет расширения частотного диапазона, так и в силу лучшей линейности измерителей и многократно более высокой их идентичности. Вместе с тем, такие датчики имеют мало общего с массо-

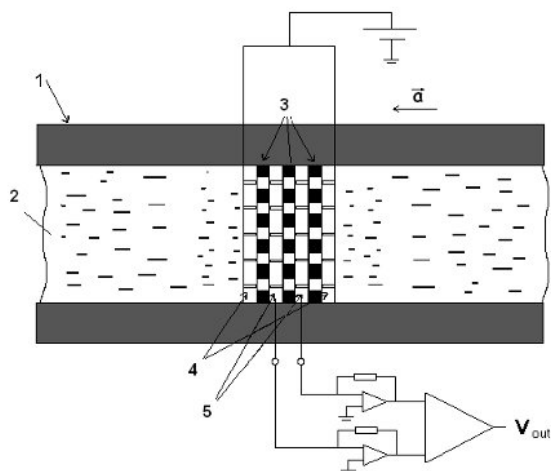
выми коммерческими МЭМС акселерометрами или гироскопами, широко применяемыми, например, в автомобильной промышленности или бытовой электронике. Для достижения необходимой в сейсморазведке высокой чувствительности широко применяются объемные микротехнологии, требующие уникального дорогостоящего оборудования. Как следствие, высококачественные сейсмические МЭМС весьма дороги, что связано с высокой стоимостью основных вложений в создание высокоточного микро-электронного производства. В свою очередь, высокая цена ограничивает область использования подобных новых сейсморазведочных систем и вообще ставит под вопрос целесообразность их широкого практического использования.

В отличие от МЭМС, молекулярно-электронные датчики, о которых и пойдет речь в данной работе, используют жидкую инерциальную массу. При этом, чувствительный элемент представляет из себя систему фиксированных относительно корпуса микро-электродов, преобразующих переменный поток рабочей жидкости, вызванный силами инерции, в вариации межэлектродного электрического тока. Отличительной особенностью данного физического механизма является крайне высокий коэффициент

преобразования, что на уровне базовых принципов позволяет достигать низкого уровня собственного шума. Важным достижением последних лет исследований является объединение молекулярно-электронного принципа преобразования с достижениями микроэлектронных технологий [1]-[3], что позволяет, во-первых, кардинально снизить себестоимость устройств в массовом производстве, а во-вторых – расширить частотную полосу регистрируемых сигналов, полностью покрыв диапазон, представляющий практический интерес для сейсморазведки.

Принципы работы.

Рисунок 1 иллюстрирует базовую концепцию молекулярно-электронного преобразующего элемента, используемого в сейсмических датчиках, состоящего, как правило, из двух симметрично расположенных пар электродов. В каждой паре один из



▲ Рис. 1. Принципиальная схема устройства молекулярно-электронного преобразующего элемента.

1 – канал, с жидкостью;

2 – рабочая жидкость;

3-диэлектрические разделители;

4 – аноды;

5 – катоды.

электродов (катод) имеет более низкий потенциал относительно другого (анода). Электродная система размещается внутри канала, заполненного рабочей жидкостью. На концах канала размещены гибкие мембраны, позволяющие жидкости двигаться относительно электродов под действием сил инерции.

Для объяснения принципов работы преобразующего элемента необходимо кратко остановиться на физических свойствах рассматриваемой системы и, в частности, механизме протекания электрического тока. Как правило, в молекулярно-электронном преобразователе используется йод-йодидный электролит, представляющий собой высококонцентрированный раствор йодида калия или лития с небольшой добавкой молекулярного йода. В присутствии йодида йод превращается в растворимый компонент три-йодид согласно следующей реакции:



Если между электродами приложена разность потенциалов, то в ячейке протекает электрический ток. При этом перенос заряда через электроды оказывается возможным только за счет наличия в растворе ионов три-йодида, которые на катоде превращаются ионы йодида с передачей электронов в металл:



В отсутствии ионов три-йодида катодная реакция становится невозможной и электрическая цепь разры-

вается. В целом, молекулярный перенос заряда в растворе дополняется электронной проводимостью на границе и в объеме металла, откуда и происходит термин молекулярно-электронный перенос, как одно из известных названий процесса переноса заряда в такой системе [4]. Величина электродного тока, таким образом, оказывается однозначно связанной с потоком ионов три-йодида через поверхность электрода:

$$I = -Dq \oint_S (\nabla c, \vec{n}) \cdot d\vec{S} \quad (3)$$

где D – коэффициент диффузии, – c – концентрация ионов три-йодида (активная компонента), $\vec{n}$ – единичный вектор нормали к поверхности электрода, q – заряд через поверхность переносимый в единичной электрохимической реакции (2). Интегрирование проводится по всей поверхности электрода, находящейся в контакте с электролитом.

Работа молекулярно-электронного преобразователя основывается на том, что величина электродного тока зависит от скорости доставки активного компонента к электроду за счет конвективного, связанного с движением жидкости, механизма. Наиболее сильно эта зависимость проявляется в режиме насыщения, переход в который происходит по мере увеличения межэлектродной разности потенциалов. Величина тока сначала нарастает из-за повышения интенсивности стимулированных разностью потенциалов электрохимических реакций (2), пока не реализуется ситуация, в которой все ионы три-йодида, достиг-

шие поверхности катода, мгновенно вступают в реакцию (2). При этом дальнейшее увеличение разности потенциалов практически не изменяет величины тока. В то же время, ток становится очень чувствительным к изменению скорости переноса ионов в объеме раствора. В частности, если жидкость приходит в движение под действием сил инерции, то конвективный перенос изменяет скорость доставки ионов к электродам, а следовательно и электрический ток.

Выходным сигналом молекулярно-электронного преобразователя, чаще всего, является разность катодных токов. Такой выбор обусловлен тем, что для симметричной ячейки, аналогичной показанной на рисунке 1, разность катодных токов в неподвижной жидкости равна нулю, а при движении жидкости один катодный ток возрастает, а другой уменьшается. Использование разностного тока позволяет компенсировать постоянную составляющую тока, повысить линейность преобразования и расширить динамический диапазон.

АЧХ молекулярно-электронного преобразователя.

Полная передаточная функция молекулярно-электронного преобразователя определяется произведением передаточных функций механической и электрохимической систем:

$$W(\omega) = W_{mech}(\omega) \cdot W_{el-chem}(\omega) \quad (4)$$

где $W_{el-chem}(\omega)$ — электрохимическая часть передаточной функции МЭП, $W_{mech}(\omega)$ — механическая.

Передаточная функция механичес-

кой системы может быть описана как отклик гармонического осциллятора, в котором инерциальная масса является жидкой, возвращающая сила связана с действием упругих мембран, а демпфирование определяется вязкими силами, действующими в тонких каналах преобразующей электродной системы (5):

$$W_{mech}(\omega) = \left| \frac{Q(\omega)}{a(\omega)} \right| = \frac{\rho L}{\sqrt{\left(\frac{\rho L}{S_{ch}} \right)^2 \frac{(\omega^2 - \omega_0^2)^2}{\omega^2} + R_h^2}}$$

Здесь $Q(\omega)$ – объем электролита, протекающий в канале за единицу времени, $a(\omega)$ – внешнее ускорение, ρ – плотность, L – длина канала, S_{ch} – площадь поперечного сечения канала, ω_0 – собственная частота колебательной системы, R_h – гидродинамическое сопротивление.

Электрохимическая составляющая передаточной функции в общем случае имеет сложный вид и исследуется численными методами. Для расчетов используется система, состоящая из уравнения Навье-Стокса, условия несжимаемости жидкости и уравнения конвективной диффузии:

$$\begin{cases} \rho \left(\frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + (\mathbf{u} \cdot \nabla) \mathbf{u} \right) = -\nabla P + \mu \Delta \mathbf{u} \\ \nabla \mathbf{u} = 0 \\ \frac{\partial}{\partial t} + \nabla(-D \nabla c + c \mathbf{u}) = 0 \end{cases} \quad (6)$$

Здесь $\mathbf{u}$ – гидродинамическая скорость жидкости, μ – вязкость, P – давление. Граничные условия к системе уравнений учитывают прилипание жидкости на твердых стенках,

отсутствие потоков ионов через диэлектрические поверхности, условие равенства нулю концентрации с на катодах, что эквивалентно нахождению системе в режиме насыщения. Корректная постановка условий на анодах является нетривиальной задачей и подробно обсуждается, например, в [5]. К счастью, условия на аноде лишь в малой степени влияют на выходные катодные токи и данная проблема носит скорее академический характер. В большинстве работ используется достаточно простое предположение о постоянстве анодной концентрации.

Известно достаточно большое количество работ, в которых решается численно или аналитически система уравнений (6) для самых разных геометрий. Полученные результаты имеют большое практическое значение для выбора оптимальной конфигурации преобразующего узла. В целом, обсуждение этого вопроса может занять достаточно много места и выходит за пределы данной статьи, имеющей целью дать общее представление о физике преобразования сигнала. Отметим только наиболее важный для дальнейшего обсуждения тот факт, что во всех изученных до сих пор геометриях коэффициент преобразования спадает с ростом частоты², начиная с некоторого критического значения D/d , где под d в общем случае надо понимать некоторый характерный размер конструкции преобразующего элемента. Отсюда, в частности, можно сделать универсальный вывод, что необходимым условием для достижения широкого частотного

диапазона является минимизация параметра d . Собственно говоря, именно создание преобразующих систем с крайне малыми характерными размерами и является решающим технологическим усовершенствованием, позволившим создать устройства с диапазоном измерений, удовлетворяющим требованиям современных сейсморазведочных технологий.

Современные молекулярно-электронные сейсмические датчики на принципах молекулярно-электронного переноса используют обратную связь, чтобы обеспечить широкий динамический диапазон, точность (повторяемость) выходных параметров, широкий частотный и температурный диапазоны измерений, временную стабильность параметров. Принцип работы сейсмодатчика с обратной связью состоит в том, что входной сигнал преобразующего элемента после электронной коррекции поступает в виде управляющего тока на вход катушки, фиксированной на корпусе преобразователя. Ток в катушке воздействует на магнит, закрепленный на мембране датчика. В результате, на жидкость в канале преобразователя действует сила, противодействующая

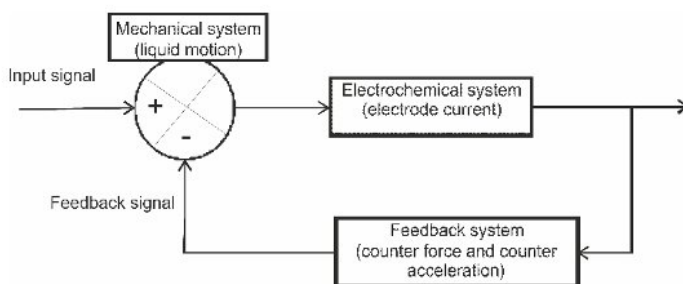
силам инерции. В зависимости от характера электронной коррекции можно сформировать выходной сигнал, пропорциональный либо скорости (велосиметр), либо ускорению (акселерометр).

Конструкции молекулярно-электронных преобразователей и методы, использованные при их создании.

Сейчас на рынке наиболее распространены датчики, созданные по микрокерамической технологии и производимые, в частности, в компании ООО «Р-сенсорс», г. Долгопрудный. Electroды в этом случае изготовлены из сетки с диаметром проволоки 30 - 100 мкм (Рисунок 3). Между электродами размещаются диэлектрические керамические разделители, в которых выполнены отверстия для протекания рабочей жидкости. Идеологически близкая технология, также с использованием сеточных электродов, описана в патенте [9] и реализована в компании eentec, США.

К принципиальным недостаткам технологии нужно отнести неизбежность ручных операций при сборке электродного узла, а также очень существенные ограничения на возможность миниатюризации преобразующего микроэлемента, связанные с технической невозможностью уменьшить характерные размеры преобразующей системы ниже уровня 30-40 мкм.

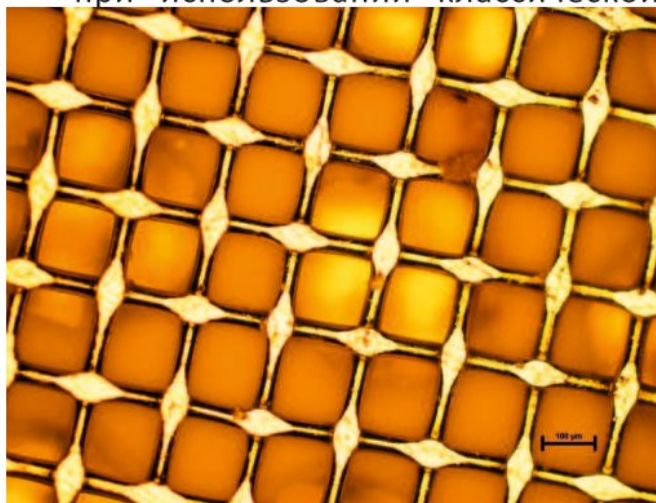
В настоящее время компанией Mettech (США) испытывается технология послойной печати преобразующего элемента керамической пастой (Рисунок 4), но, несмотря на ряд проведенных экспериментальных



▲ Рис. 2. Принципиальная блок-схема сейсмодатчика с отрицательной обратной связью.

работ, на текущий момент геофоны с преобразователями, выполненными по данной технологии, отсутствуют в продаже.

В перспективе основная проблема технологии послойной печати состоит в том, что она не позволяет достичь расстояния между электродами менее нескольких десятков микрометров и при этом из-за высокого удельного сопротивления используемых материалов дополнительное сопротивление электродов получается относительно высоким. Определенным преимуществом данной технологии можно считать теоретическую возможность достичь меньшего разброса параметров при серийном производстве, чем при использовании классической

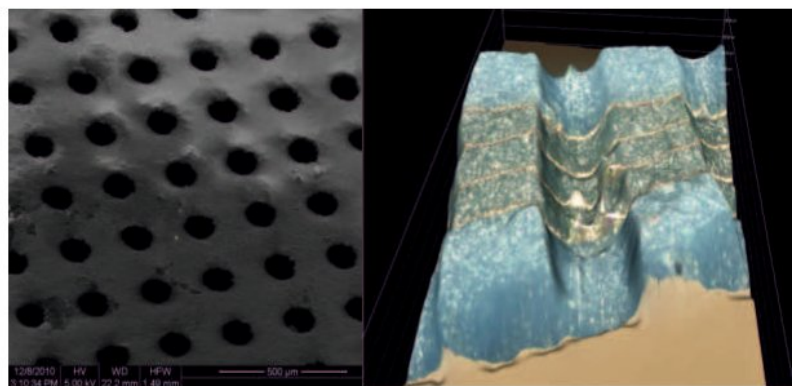


▲ Рис. 3. Снимок электродного пакета современного МЭП, созданный с помощью микроскопа Nikon Eclipse LV150. Слева – внешний вид преобразующего элемента. Справа – увеличенное изображение электрода, входящего в состав преобразующего элемента.

В настоящее время компанией Mettech (США) испытывается техноло-

гия послойной печати преобразующего элемента керамической пастой (Рисунок 4), но, несмотря на ряд проведенных экспериментальных работ, на текущий момент геофоны с преобразователями, выполненными по данной технологии, отсутствуют в продаже.

В перспективе основная проблема технологии послойной печати состоит в том, что она не позволяет достичь расстояния между электродами менее нескольких десятков микрометров и при этом из-за высокого удельного сопротивления используемых материалов дополнительное сопротивление электродов получается относительно высоким. Определенным преимуществом данной технологии можно считать теоретическую возможность достичь меньшего разброса параметров при серийном производстве, чем



▲ Рис. 4. Снимок внутреннего устройства электродного пакета преобразователя, выполненного по технологии послойной печати, построенный с помощью микроскопа Nikon Eclipse LV150, оснащенного BWH-501 3D surface profiler. Расстояние между тонкими проводящими слоями — 40 мкм. Слева – внешний вид преобразующего элемента. Справа – увеличенный разрез электродной структуры внутри канала

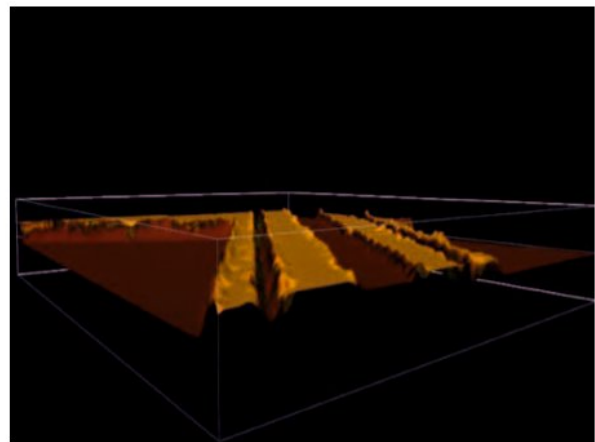
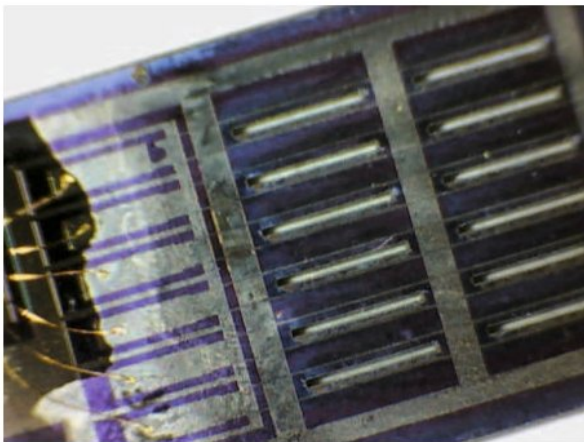
при использовании классической сеточной технологии.

Для перспектив широкого практического применения молекулярно-электронных сейсмических датчиков важнейшее значение имеет создание первых образцов устройств, основанных на принципиально новой технологии изготовления чувствительного элемента. [1, 2] С использованием набора микроэлектронных технологических операций были созданы планарные преобразующие структуры с рекордно малым расстоянием между

можно создание устройств по цене близких к стандартным геофонам, при сохранении значительных преимуществ в части технических характеристик.

Технические параметры современных молекулярно-электронных сейсмо датчиков.

На основе описанных физических принципов разработаны и выпускается целая серия технических устройств, различающихся по назначению и техническим параметрам. В ближайшем будущем ожидается появление



▲ Рис. 5. Трехмерный снимок преобразующей электродной структуры, построенный с помощью микроскопа Nikon Eclipse LV150, оснащенного BWH-501 3D surface profiler. Расстояние между электродами - 3 мкм, высота электродов над поверхностью пластины – 300 нм. (масштаб по вертикали и горизонтали различный). Слева – общий вид. Справа – микроструктура проводящих дорожек, служащих электродами преобразующего элемента.

электродами преобразующей микросистемы (Рис. 5).

В свою очередь, это привело к существенному расширению частотного диапазона измерений, улучшению линейности отклика. Одновременно, использование планарных технологий создает основу для качественного снижения себестоимости сейсмодатчиков, созданных на базе новых технологий. Уже в ближайшее время воз-

можно создание устройств по цене близких к стандартным геофонам, при сохранении значительных преимуществ в части технических характеристик.

коммерчески доступных приборов, в которых преобразующие микроструктуры выполнены с применением микроэлектронных технологий. В настоящее время наиболее близко по своим техническим и экономическим параметрам к возможности применения на рынке сейсморазведочной аппаратуры подошли сейсмические датчики велосиметры МТСС-1001 (МТСС-2003 – трехкомпонентная

модификация), разработки ООО «Р-сенсорс», г. Долгопрудный, , сейсмоакселерометры того же производителя МТСС-1041А (МТСС-1043А – трехкомпонентная версия), а также сейсмотатчик МТЛА-1040, разработанный в компании Mettech, США. Технические параметры указанных устройств в сравнении с геофонами известных производителей приведены в табл. 1.

В таблице 2 приводится сравнение с сейсмическими акселерометрами, изготовленными по технологии МЭМС.

ных искажений менее 0.05% достаточно сложно обнаружить даже в лабораторных условиях, не говоря уже о полевых. Едва ли указанное преимущество имеет практическое значение. В то же время молекулярно-электронные акселерометры заметно дешевле, а при переходе на микроэлектронные технологии изготовления эта разница составит более, чем десять раз.

Из данных, приведенных в таблице 1, видно, что молекулярно-электронные датчики обеспечивают более

▼ Табл. 1. Молекулярно-электронные датчики в сравнении с геофонами.

Параметр	GS -11D	MTSS1001	МТЛА -1040
Количество осей	1	1	1
Нижняя граничная частота	4.5 Гц, 8 Гц, 10 Гц, 14 Гц±0.75 Гц	1 Гц±0.05 Гц	3-410 Гц
Коэффициент преобразования	32 В/м/с±10%	250 В/м/с±2%	40 В/м/с
Коэффициент нелинейных искажений измеряется при сигнале 18 мм/сек, на 12 Гц	<0.2% - для версий 8 Гц, 10 Гц, 14 Гц Не указан - для версии 4.5 Гц	<0.1 %	<0.1 %
Размер ЧЭ			
Высота	34 мм	35 мм	36 мм
Диаметр	32 мм	32 мм	34 мм
Требования к установке	Угол наклона < 30°	Работоспособен в любой ориентации	Работоспособен в любой ориентации

В целом, здесь наблюдается близость параметров. МЭМС акселерометры имеют более широкую полосу регистрации сигналов, в основном вне полезной области, и лучшую линейность. По последнему параметру стоит заметить, что в настоящее время наиболее распространены геофоны с линейностью 0.2%, а уровни нелиней-

широкую частоту регистрации, лучшую линейность и точность воспроизведения характеристик при габаритах, характерных для 10-герцовых геофонов. По сравнению с 1-герцовыми геофонами молекулярно-электронные датчики значительно меньше, обеспечивая более широкую полосу регистрации, теперь уже в области

высоких частот. Молекулярно-электронные датчики имеют, как правило, более высокий коэффициент преобразования. В то же время, надо понимать, что больший коэффициент преобразования не обязательно автоматически означает возможность регистрировать более слабые сигналы. Дело в том, что геофон, будучи, по сути, пассивным прибором имеет крайне низкие собственные шумы. Реально, если рассматривать канал регистрации сейсмодатчик – цифровая система, именно шумы цифровой электроники являются фактором, определяющим реальную разрешающую способность канала. К примеру,

типичное значение собственного шума (шум Найквиста омического сопротивления плюс броуновское движение инерциальной массы) соответствуют выходным сигналам около 0.05 мкВ при собственных шумах 24-разрядного АЦП ~ 1 мкВ. В пересчете на входной сигнал одиночного 10-тигерцового геофона с коэффициентом преобразования 20 В/м/с это соответствует 50 нм/сек входного сигнала. Для той же самой полосы, учитывая, что спектральная плотность шума в единицах измеряемого ускорения мало зависит от частоты и составляет примерно 0.7 мкм/с²/Гц, одиночный молекулярно-электрон-

▼ Табл. 2. Молекулярно-электронные датчики в сравнении с сейсмическими МЭМС акселерометрами.

Технический параметр	Сейсмоакселерометр, используемый в VectorSeis, IONgeo	Сейсмоакселерометр, используемый в DSU - 3, Sercel	Молекулярно-электронный акселерометр MTSS 1043A
Диапазон измеряемых сигналов	$\pm 3.3 \text{ м/с}^2$	$\pm 5 \text{ м/с}^2$ 0°	$\pm 8 \text{ м/с}^2$
Шум	$0.5 \text{ мкм/с}^2 / \sqrt{\text{Гц}}$	$0.4 \text{ мкм/с}^2 / \sqrt{\text{Гц}}$	$0.7 \text{ мкм/с}^2 / \sqrt{\text{Гц}}$
Частотный диапазон	0 - 1450 Гц,	0 - 800 Гц,	0.1 – 120 Гц
Динамический диапазон, в полосе до 100 Гц	~117 dB	~122 dB	122 dB
Температурный диапазон	-40 +70 °C	-40 +70 °C	-40 +70 °C
Нелинейные искажения при 12 Гц и размахе входного сигнала 18 мм/сек.	$\pm 0.002\%$	$\pm 0.003\%$	$\pm 0.05\%$,
Потребление	Не указано	300 мВт	320 мВт
Цена	\$1800	\$1800	\$1000

ный датчик будет иметь шум [10] около 20 нм/сек. С другой стороны, группа из 12 геофонов будет иметь уже более высокий общий коэффициент преобразования и соответственно – более низкий уровень приведенных ко входу шумов.

В целом, можно заключить, что имеющиеся в настоящее время на рынке молекулярно-электронные сейсмодатчики могут иметь существенное преимущество по сравнению с геофонами, если требуется регистрация более низких частот или предполагается применение одиночного датчика.

Использование группы геофонов позволяет обеспечить регистрацию более слабых сигналов.

Важная особенность молекулярно-электронных датчиков состоит в том, что их работоспособность не зависит от ориентации. В случае трехкомпонентной регистрации это дает существенное преимущество, поскольку позволяет корректировать отклонения оси чувствительности от вертикали. Также отсутствие требований к ориентации осей значительно упрощает использование датчиков под водой, например, в донных станциях или при регистрации трехкомпонентного акустического сигнала.

Что касается ценовых показателей, то в настоящее время их цена заметно выше, чем у геофонов, но может практически сравняться с ними при переходе на микроэлектронные технологии, представленные выше.

По сравнению с МЭМС акселерометрами преимущество молекулярно-электронных датчиков в их более

низкой цене, которое может оказаться намного более существенным при переходе к массовым микроэлектронным технологиям.

Заключение

Таким образом, результатом исследований и разработок, выполненных, начиная с 2000 года, явилось создание нового типа сейсмического оборудования – первичных датчиков, основанных на молекулярно-электронном переносе в твердотельных и жидкостных микроструктурах. В настоящее время организован серийный выпуск таких изделий, одновременно развиваются микроэлектронные методы создания соответствующих преобразующих элементов, что позволит им успешно конкурировать с имеющимися на рынке геофонами и МЭМС акселерометрами не только по техническим, но и экономическим характеристикам. Появление на рынке такого продукта запланировано на ближайшие 2-3 года.

Работа выполнена при поддержке РФФИ, проекты 2-07-12057офи-м, 12-07-33101мол_а_вед, 1-07-00663а и в рамках федеральной целевой программы «Исследования и разработки по приоритетным направлениям развития научно-технологического комплекса России на 2007-2012 годы» г/к. № 11.519.11.5003 от 30.08.2011 г.

Литература

1. Криштон В. Г., Агафонов В. М., Бугаев А.С. Технологические основы преобразователей параметров движения на принципах переноса массы и заряда в электрохимических микросистемах. Электрохимия, 2012,

том 48, № 7.

2. Агафонов В. М., Криштоп В. Г., Сафонов М. В. Измерительные устройства на основе молекулярно-электронного переноса в микро- и наноструктурах. Нано- и микро-системная техника, Т.5, №6, 2010.

3. H. Huang, B. Carande, R. Tang, J. Oiler, D. Zaitsev, V. M. Agafonov and H. Yu "Development of a micro seismometer based on molecular electronic transducer technology for planetary exploration", In Proceedings of the 26th IEEE International Conference on Micro Electro Mechanical Systems (MEMS 2013), January 20-24, Taipei, Taiwan. IEEE, 2013.

4. Лидоренко Н.С., Ильин Б.И., Зайденман И.А. и др.; Под ред. Лидоренко Н.С. Введение в молекулярную электронику. М.: Энергоатомиздат, 1984. -320 с.

5. Z. Sun, E. Egorov, V. Agafonov The Influence Of The Boundary Condition On Anodes For Solution Of Convection- Diffusion Equation With The Application To A Four-Electrode Electrochemical Cell. Journal of Electroanalytical Chemistry. 661 (2011), 157-161.

6. Larcam C.W. Theoretical Analysis of the Solion Polarized Cathode Acoustic Linear Transducer // The Journal of the Acoustical Society of America, 1965, vol. 37, № 4, pp. 644-678.

7. Козлов В.А., Терентьев Д.А. Передаточная функция диффузионного преобразователя при частотах выше гидродинамической. Электрохимия, 2003, том 39, № 4, С. 443-449.

8. Агафонов В.М., Криштоп В.Г. Частотная характеристика диффузионного датчика механических сигналов на высоких частотах. Электрохимия, 2004, том 40, № 5, С. 606-611.

9. Abramovich I.A., Kharlamov A.V. Electrochemical transducer and a method for fabricating the same. US Patent 6,576,103 B2 2003.

10. Егоров И. В., Агафонов В. М., Шабалина А. С. Принципы работы и технические характеристики малогабаритного молекулярно-электронного сейсмодатчика с отрицательной обратной связью. Сейсмические приборы. 2013. Т. 49, № 1, С.5-18.

Подробнее об авторах

Агафонов В. М.



МФТИ, г. Долгопрудный,
ООО "Р-сенсорс",
г.Долгопрудный,

Криштоп В. Г.



МФТИ, г. Долгопрудный,
Институт проблем техно-
логии микроэлектроники
и особочистых материалов
РАН, Московская обл,
Ногинский р-н,
Черноголовка

Егоров И. В.



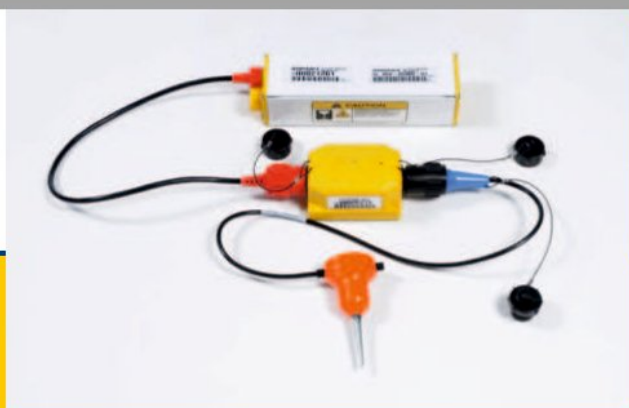
ООО "Р-сенсорс",
г.Долгопрудный,

Бескабельные системы сбора сейсмических данных GSX производства компании Geospace Technologies для широкого спектра применений

- на сегодняшний день, являются самыми признанными и наиболее широко эксплуатируемыми бескабельными системами, предлагаемыми рынком, причем число проданных нами бескабельных систем превосходит количество аналогичных станций, проданных нашими конкурентами, вместе взятыми.

GSX

наша проверенная бескабельная система сбора сейсмических данных полевого базирования



GCX

полностью автономный бескабельный сейсмический регистратор для заказчиков, которым требуется прибор конфигурации "3-в-1" – -аккумулятор+регистратор+геофон



OBX

наша бескабельная система для базирования на морском дне



Новый старый знакомый

- Интервью генерального директора ООО «Геоспейс Технолоджис Евразия» А.В.ПЕСКОВА главному редактору журнала « Приборы и системы разведочной геофизики» П.А.ТУРЛОВУ



Сравнительно недавно среди уже примелькавшихся названий компаний, действующих на российском рынке геофизического оборудования, появилось новое название ООО «Геоспейс Технолоджис Евразия». При внимательном рассмотрении мы обнаружили нашего доброго старого знакомого, которого ранее все мы знали под названием «ОЙО-ГЕО Импульс Интернэшнл».

Этот факт, а также постоянный интерес наших читателей к делам и достижениям этой очень уважаемой в России компании, побудил главного редактора журнала П.А.Турлова взять интервью у генерального директора ООО «Геоспейс Технолоджис Евразия» А.В.ПЕСКОВА, которое и предлагается вниманию читателей

Турлов: Александр Васильевич, чем вызвано изменение названия наименования компании?

Песков: Действительно. Предприятие геофизического приборостроения ООО «Геоспейс Технолоджис Евразия» - именно так называется сейчас наше предприятие. До 2012 года оно было известно под названием «ОЙО ГЕО Импульс Интернэшнл». Это решение нашей головной компании в Хьюстоне – «Геоспейс Технолоджис Корпорейшен». В новом названии, с одной стороны более четко прослеживается связь нашей компании с головной, а с другой стороны присутствует наименование региона, в котором мы в основном оперируем. Так что, как видите, логика в переименовании есть.

Т. Но направление деятельности компании, надеюсь, не изменилось?

П. Мы занимаемся производством геофонов с 1991 года. И за 23 года научились делать высококачественные геофоны GS – 20DX, GS - 30CT, GS -

32CT. Но время идет. Меняются требования к геофонам, сервисному обслуживанию, номенклатуре. Мы не стоим на месте – развиваемся. Стараясь идти в ногу со временем, мы расширяем линейку выпускаемых изделий. В серийное производство запущен малогабаритный всенаправленный геофон GS -14. Ведется разработка и внедрение в производство еще более миниатюрного геофона. Приступаем к выпуску нового, очень сложного в изготовлении геофона GS – One, который благодаря своим высоким характеристикам способен заменить группу из шести обычных геофонов. В конструкции геофона, применены самые современные технологии и материалы. Наша головная компания в Хьюстоне – «Геоспейс Технолоджис Корпорейшен» выпускает свыше 50 тыс. геофонов GS – One ежемесячно. Ведущие мировые геофизические компании высоко оценили новинку. И, надеюсь, этот геофон будет по достоинству оценен и российскими геофизиками.

Т. *«Высокое качество сейсмоданных начинается у нас...» – именно так была озаглавлена одна из статей, помещенная в нашем журнале и посвященная Вашему предприятию со старым названием «ОЙО ГЕО Импульс Интернэшнл». А как сейчас обстоят дела на предприятии с обеспечением высокого качества выпускаемой продукции?*

П. Мы всегда понимали, что стоим в начале процесса получения высококачественных сейсмоданных.

Электродинамические геофоны занимают первое место в цепочке «геофон – линия связи – сеймостанция». И от качества геофонов во многом зависит конечный результат. Потому высокое качество выпускаемых нашим предприятием геофонов является приоритетным и бескомпромиссным критерием. Мы добились, пожалуй, самого лучшего в отрасли показателя, определяющего качество геофонов, – коэффициента нелинейных искажений, не превышающего 0,05. Для того чтобы измерить этот важный параметр, требуются сверхточные измерительные приборы и абсолютно виброзащищенный от внешних воздействий измерительный бокс. Все это мы создали и можем обеспечить такие характеристики у серийно выпускаемых приборов.

Т. *А что Вы можете сказать о продукции Ваших конкурентов – китайских производителей геофонов? Ведь, что греха таить, многие российские сервисные геофизические компании пользуются их продукцией.*

П. Вопрос заключается в том, какое качество нужно нашим заказчикам и

какие деньги заказчик готов заплатить за это качество. Мы, зачастую, проигрываем китайским производителям геофонов в цене, но никогда – в качестве. И мы не будем снижать цену в ущерб качеству. Наша продукция востребована в России и за рубежом, 60 % объемов – идет на экспорт в ведущие мировые компании.

Мы постоянно анализируем качество геофонов, поставляемых в Россию нашими конкурентами. И можем с полной уверенностью сказать, что геофоны, производимые в Уфе лучше по качеству, по ремонтпригодности, чем большинство марок поставляемых в Россию геофонов китайского производства. При сопоставимом качестве и цене становятся практически одинаковыми. Кроме того, мы предлагаем заказчикам высокий уровень сервисного, гарантийного и послегарантийного обслуживания. К нам на ремонт поступают наши группы геофонов, отслужившие по пять и более лет. И после ремонта, зачастую ограничивающегося только заменой кабеля и уплотнителей, мы с уверенностью даем годовую гарантию.

Вместе с тем, сегодня в России, к сожалению, зачастую главным критерием в выборе поставщика является цена. Эта тенденция закладывается нефтяными компаниями и обращена на всю систему закупок. Свою роль в этой ситуации мы видим в опережающем развитии, выпуске высокотехнологических изделий, способных существенно улучшить качество получаемого сейсмического материала при меньшей стоимости полевых работ.

Т. *И что нового Ваша компания предлагает сейчас и собирается предложить в ближайшем будущем российским геофизикам?*

П. Геофон GS-One – вот наш ответ конкурентам. Этот геофон прекрасно зарекомендовал себя в работе с новейшей бескабельной системой сбора данных GSR – GSX. Эта бескабельная система разработана и выпускается в головной компании – «Геоспейс Технолоджис Корпорейшен» в Хьюстоне. Система отлично себя зарекомендовала, и объемы продаж показывают, что эта бескабельная система № 1 в мире. Начались продажи этой системы GSX и в России. Есть первые покупатели. Наше предприятие занимается продвижением системы в России и странах СНГ. В Уфе создается современный центр по обучению специалистов и сервисному обслуживанию данных систем. На своем производстве в Уфе мы осваиваем производство большого количества деталей и узлов для бескабельной системы GSX, что позволит сделать системы доступнее для российских заказчиков.

Т. *Александр Васильевич, представляется, что одним изменением названия компании дело не ограничилось. Что еще изменилось на предприятии в последнее время?*

П. Став 100 % дочерним предприятием американской компании «Геоспейс Технолоджис Корпорейшен», наше предприятие «Геоспейс Технолоджис Евразия» получило доступ к современным технологиям и инвестициям. Только за последние 1,5 года мы получили в виде прямых инвести-

ций более 4,5 млн. долл. Это дало возможность проводить техническое перевооружение предприятия и выпускать самое современное геофизическое оборудование.

Закуплены современные металлообрабатывающие центры, литьевые автоматы, оборудование для кабельного производства. Освоен выпуск сверхминиатюрных всенаправленных геофонов и новых высокопрочных кабелей для транзитных зон. Мы вплотную подошли к выпуску подводных кос с интегрированными внутри косы геофонами. Это ближайшая и весьма интересная перспектива.

Мы открыты для сотрудничества в самых разных областях. Наши изделия – геофоны, кабельная продукция востребованы в инженерной геофизике, в создании комплексных охранных систем для таких серьезных структур как ФСБ, МВД, корпорация «Росатом».

Главная наша задача – производить современное геофизическое оборудование, расширять номенклатуру изделий. Имеющийся опыт, высокий уровень технического обеспечения и, главное, высококвалифицированные работники, позволяют с оптимизмом смотреть в будущее.

Т. *Ну что ж. Остается только пожелать Вам успехов в реализации всех Ваших планов на благо нашей российской геофизики.*

П. Спасибо. Желаю Вам и всем читателям журнала здоровья и успехов во всех начинаниях. Со своей стороны мы будем делать все, что от нас зависит, чтобы эти успехи были как можно более весомыми.

О новом в производстве сейсмоприёмников на предприятии ООО «Геоспейс Технолоджис Евразия»

■ Зиновьев В.И., ООО «Геоспейс Технолоджис Евразия, г.Уфа

В 2012 году в связи с изменениями в составе учредителей ООО «ОЙО- Гео Импульс Интернэшнл» было переименовано в ООО «Геоспейс Технолоджис Евразия». При этом вся ранее выпускаемая номенклатура изделий в производстве сохранена.. В настоящее время наибольшим спросом у потребителей пользуются группы геофонов GS-20DX, GS-32CT. Предприятие поставляет за рубеж до 70% выпускаемой продукции. В группах геофонов, поставляемых за рубеж, как правило, применяются сейсмоприёмники типа GS-30CT, GS-32CT, имеющие более жёсткие допуски на основные параметры по сравнению с сейсмоприёмниками GS-20DX и, соответственно, больший рабочий ресурс обеспечиваемый конструктивными и технологическими решениями.

Геофоны GS-20DX, GS-32CT сертифицированы ЕАГО на соответствие действующим Российским стандартам. Имеются квалификационные сертификаты головной компании-разработчика Геоспейс Технолоджис на производство геофонов GS-20DX, GS-30CT, GS-32CT, что обеспечивает предприятию возможность работы на международном рынке.

С 2007 году система менеджмента качества предприятия сертифицирована на соответствие требованиям ГОСТ ИСО 9001-2001и успешно функционирует по настоящее время.

В целом работе по обеспечению качества на всех этапах производства

уделяется весьма много внимания, начиная от поставщиков материалов и комплектующих, входного контроля до текущего и выходного контроля с соответствующим обеспечением мерительным инструментом, приборами, измерительными комплексами, метрологическим обеспечением, обучением и аттестацией персонала, анализом удовлетворённости потребителя.

Производство сейсмоприёмников начинается с конструкторско-технологической документации. В нашем случае конструкторская документация предоставлена головным разработчиком с последующим её переложением с американской в метрическую систему единиц измерения. Отсюда возникают определённые требования к сортаменту входящих материалов, обрабатываемому инструменту, а также к механическим и электрическим характеристикам российских материалов. Все эти вопросы решаются и регулируются в процессе производства конструкторско-технологическим отделом предприятия.

Следующий этап производства - изготовление механических деталей (токарная обработка, фрезерование, сверление, галтовка отдельных деталей). При мехобработке ведётся 100% контроль всех деталей по определяющим геометрическим размерам как самими исполнителями, так и в ходе последующей приёмки ОКК с выбо-

рочным контролем полной геометрии.

В настоящий момент предприятие находится в стадии освоения производства нового высокочувствительного сейсмоприёмника GS-ONE. Запущена в производство опытная партия в 5000 шт. Данным типом сейсмоприёмника комплектуется новая бескабельная система сбора геофизических данных GSR (GSX), выпускаемая головной компанией в Хьюстоне. Сейсмоприёмники GS-ONE, имеющие чувствительность в 3-и раза выше чувствительности обычных электродинамических сейсмоприёмников GS-30, 32CT, SM-24, обеспечивают возможность выполнения геофизических работ с одиночными сейсмоприёмниками без группирования с более плотной расстановкой, что позволяет получать более достоверную геофизическую информацию. Вместе с тем, если при группировании показатели сейсмоприёмников осредняются и возможны менее жёсткие допуски на параметры сейсмоприёмников в

группе, то требования к точности изготовления и надёжности сейсмоприёмников GS-ONE при использовании их как одиночных существенно выше.

Вот почему этапу изготовления опытной партии сейсмоприёмников GS-ONE предшествовала достаточно сложная и большая подготовка производства: от освоения производства отдельных механических деталей с обеспечением соответствующих требований по допускам. Все это определило дальнейшее направление технического перевооружения механического производства и закупку современных двухшпиндельных автоматов продольного точения - обрабатывающих центров, позволяющих выполнять операции точения с перехватом деталей, а также производить их фрезеровку, сверление, при необходимости, гравировку без переустановки деталей.

Подготовка производства затронула и весь комплекс технических средств, задействованный в измере-

Рис.1 Обрабатывающий центр JSL-32AB производства Тайвань



ниях промежуточных и окончательных параметров, вплоть до переноса тестирующего комплекса в отдельное помещение с формированием развязанных от основного здания фундаментов под тестирующее оборудование. Это было вызвано необходимостью обеспечения требуемого низкого сейсмического фона на измерительных платформах в связи с высокой исходной чувствительностью сейсмоприёмника GS-ONE. Произведена модернизация тестирующего комплекса под новые типы сейсмоприёмников, в том числе и под GS-ONE, GS-14CT, разработаны и введены в эксплуатацию приборы измерения проводимости каркасов, намагничивания, частичного размагничивания и другие, обеспечивающие получение требуемых параметров новых типов сейсмоприёмников.

Одним из основных элементов любого типа сейсмоприёмника является упругий элемент в нашем случае пружина. Таких пружин в сейсмоприёмнике электродинамического типа, таких как 20DX, 30,32CT, SM-24, уста-

навливается две.

Именно эти плоские пружины вместе с сейсмомассой катушки и определяют собственную частоту сейсмоприёмника. Если сейсмомасса катушки является величиной заданной с требуемым допуском, то такие показатели пружин, как жёсткость и масса, удерживать в требуемом поле допуска при производстве весьма сложно. Используется расширенное поле допуска на их показатели, а затем под каждую взвешенную катушку из расширенного поля подбирается пара пружин. Таким образом и обеспечивается требуемая точность по собственной частоте сейсмоприёмника. Отчасти такая технология определяется точностью процессов изготовления пружин и в основном показателями фольги, поступающей от производителей на травление. Желание управлять процессами изготовления пружин, снижая их себестоимость и увеличивая выход годных, предопределило наши дальнейшие действия.

К середине 2008 года был спроектирован, закуплен, смонтирован и



Рис.2 Гальванический участок

запущен комплекс по производству (химическому травлению) пружинных деталей от ведущих мировых производителей. В состав комплекса входят установки Испании, Германии, Англии, США, «чистая комната», очистные сооружения, системы водоподготовки, захлаживания от Российских производителей с максимальной производительностью до 2-2,5 млн пружинных деталей в год.

Главным подрядчиком выступила компания «Петрокоммерц» г.С.Петербург, обеспечившая технологическое сопровождение проекта, пусконаладочные работы по основному оборудованию.

Данный комплекс обеспечивает полный цикл производства пружинных деталей из фольги, начиная от разработки и изготовления фотошаблонов до получения готовых пружин. Комплекс обеспечивает точность изготовления пружин в геометрических размерах $\pm 10 \text{ мкм}$, при высокой степени повторяемости процессов за счёт встроенных процессорных систем стабилизации химсостава и температуры как травильного раствора, так и растворов на других установках подготовительных и окончательных операций. При нанесении фоторезиста и экспонировании в «чистой комнате» исключается попадание частичек пыли на границы травления.

Другим не менее важным показателем любого сейсмоприёмника электродинамического типа является демпфирование. Этот показатель определяется при разомкнутой внешней цепи сейсмоприёмника проводимостью алюминиевого каркаса катушки и значением магнит-

ного потока в рабочем зазоре сейсмоприёмника на частоте собственных колебаний. Чем выше проводимость каркаса, тем больше демпфирование. Формирование этого показателя начинается на этапе заказа у поставщиков материала с заданной проводимостью под каркас катушки, обеспечивается в процессе мехобработки геометрии, последующим твёрдым анодированием, покрывающего каркас прочной электроизолирующей плёнкой и доводится термообработкой каркаса до требуемых величин в соответствующее поле допуска.

Показатель чувствительность определяется количеством витков катушки, значением магнитного потока в рабочем зазоре и взаимосвязью с демпфированием. Обеспечивается производством в процессе формирования требуемого магнитного потока в рабочем зазоре при намагничивании магнитной системы сейсмоприёмника в сборе. Намотка катушек сейсмоприёмников ведётся на скоростных, точных намоточных станках чешского и швейцарского производства (точность ± 1 виток при общем числе 1000) при стабилизированной температуре в помещении намотки. Всё это с организованным 100% контролем также минимизирует отклонения активного сопротивления катушки от заданных значений.

Одним из основных показателей сейсмоприёмника является КНИ-коэффициент нелинейных искажений, определяемый конструкцией сейсмоприёмника: равномерностью распределения магнитного поля в рабочих зазорах между полюсным

наконечником и внешним магнито-проводом, расположением рабочих полуобмоток катушки, симметрией полуобмоток (равенством их витков), а также линейностью характеристик пружин, на которых подвешена катушка, в диапазоне рабочих перемещений.

Здесь основополагающую роль выполняют пружины. Именно они задают исходное положение - центровку катушки в рабочем зазоре, определяют своим ресурсом уход центровки в процессе эксплуатации. При производстве сейсмоприёмников центровка является параметром, подлежащим измерению и контролю по заданному полю допуска.

Весьма существенную долю в КНИ вносит заделка пружин, посадочные места под их установку. Естественно, немаловажное значение имеет чистота проведения сборочных операций, отсутствие каких-либо частиц, ворсинок в рабочих зазорах, прочность нанесённых защитных покрытий.

Для подтверждения заданного рабочего ресурса, собранные сейсмоприёмники подвергаются испытаниям, в ходе которых сейсмоприёмники падают с высоты 1-го метра на твёрдую поверхность с последующим тестированием. Количество ударов составляет не менее 2000. Для этих целей произвольной выборкой ежедневно от каждой тысячи отбирается 10 сейсмоприёмников, которые и подвергаются испытаниям. Не прошедшие испытания сейсмоприёмники разбираются, анализируются причины дефектов, принимаются соотве-

тствующие редактирующие действия.

В тестировании сейсмоприёмников на предприятии задействованы две автоматические тестирующие станции (АТС), разработанные и выпускаемые компанией Геоспейс (Хьюстон). Одна из них прошла модернизацию под новые типы сейсмоприёмников в 2012 г. Повышена разрядность используемого АЦП с 16 бит до 24-х. Введена в действие аппаратура OGA, разработанная Геоспейс для тестирования как одиночных геофонов новых типов, так и всех ранее освоенных, с возможностью тестирования и групп геофонов. В производстве используются современные модели магнитайзеров, обеспечивающих намагничивание геофонов в сборе с возможностью измерения основных параметров, тестеры SMT-200, SMT-400. Для сортировки пружин в 2012г введены в действие компьютеризированные системы сортировки пружин с использованием прецизионных датчиков силы.

Ранее использовались датчики с низкой точностью, что приводило к некоторым отклонениям в подборе пар пружин.

В соответствии с технологическим регламентом сё тестовое оборудование ежедневно в начале смены проходит калибровку эталонами. Периодически, раз в полугодие по утверждённой методике проводится калибровка измерительного тракта с применением в качестве эталонных средств измерения приборов SMT.

Контроль электрических параметров сейсмоприёмников в процессе сборки проводится в три этапа:

Рис.3 Автоматическая тестирующая станция



- контроль при намагничивании магнитайзерами в закрытой цепи с шунтирующим внешним резистором до закрытия-завальцовки крышки;
- тестирование на АТС в открытой цепи до завальцовки;
- финишное тестирование на АТС после завальцовки с отбраковкой сейсмоприемников, не прошедших по параметрам.

Накопленная на АТС информация по тестированию периодически считывается и подвергается статистической обработке, показывающей

среднестатистические отклонения параметров от номинальных величин. В соответствии с результатами проводятся корректирующие действия.

Для нашего предприятия всегда было характерно стремление быть на самом острие технологического прогресса. Без этого невозможно обеспечить производство продукции, отвечающей требованиям международных стандартов. И именно такой подход к организации производства обеспечивает ООО «Геоспейс Техно-

Подробнее об авторе



Зиновьев В.И.

Технический директор
ООО «Геоспейс Технолоджис
Евразия, г.Уфа

Сравнение результатов полевых испытаний геофонов при выполнении сейсморазведочных работ по методике 2D в Колумбии

■ R. Yibirin (Pacific Rubiales Energy), A. Lacruz (Pacific Rubiales Energy), J. Caldwell (OYO Geospace)

Введение

В течение апреля 2011 года компания "Pacific Rubiales Energy" проводила полевые испытания в Колумбии с целью сравнения сейсмических данных, полученных с использованием традиционных 6-элементных групп сейсмоприемников (геофоны, соединенные последовательно), с данными, полученными с использованием одиночного сейсмоприемника GS-One производства компании OYO Geospace. Теоретически, сигнал одиночного геофона GS-One на 2-3 дБ (по амплитуде) слабее, чем сигнал шести соединенных последовательно традиционных сейсмоприемников (в зависимости от конкретного используемого традиционного геофона). Таким образом, эта небольшая разница не должна оказывать отрицательное влияние на качество данных. В таблице 1 представлены основные технические характеристики геофона

GS-One и трех наиболее распространенных традиционных геофонов, обычно применяемых в группах сейсмоприемников. В результате полевых испытаний был получен материал, позволивший сравнить данные, собранные с помощью шести геофонов SM-24 компании ION Sensor, сгруппированных в пределах окружности диаметром один метра, и данные, полученные с помощью только одного геофона GS-One.

Полевые испытания

Полевые испытания проводились на Восточной Колумбийской равнине (Eastern Colombian Llanos) во время сейсмической съемки по методике 2D в местности с хорошо разведанной геологией. Для одного из двух сейсмических профилей два пункта приема были размещены в одинаковых позициях. На первом пункте приема была установлена группа сейсмоприемников, состоящая из

▼ Табл. 1

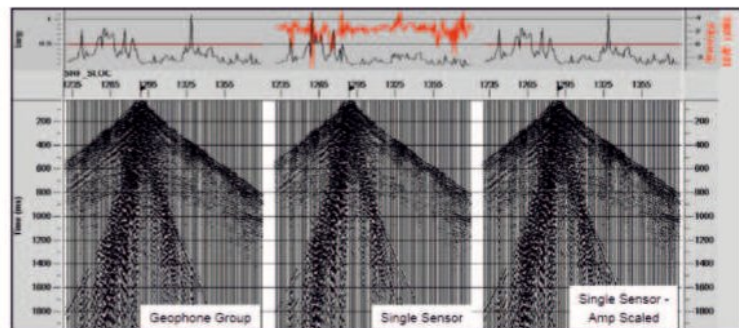
Тип геофона	GS-One	SM-24	SG-10	GS-32CT
Собственная частота	10 Гц ± 3,5%	10 Гц ± 2,5%	10 Гц ± 2,5%	10 Гц ± 2,5%
Искажения	0,05%	0,1 %	0,075%	0,1 %
Чувствительность	85,8 В/м/сек	28,8 В/м/сек	22,8 В/м/сек	27,5 В/м/сек
Максимальная частота	240 Гц	240 Гц	240 Гц	250 Гц
Минимальное движение катушки	2,54 мм	2,0 мм	1,78 мм	1.52 мм
Вес	130 г	74 г	78 г	86 г
Изготовитель	OYO Geospace	I/O SENSOR	Sercel	OYO Geospace

Примечание: Значения чувствительности не обязательно приведены при одинаковом уровне затухания.

шести последовательно соединенных геофонов SM 24 производства I/O Sensor ("Группа геофонов"), расположенных по окружности диаметром 1 метр, а на втором пункте приема был установлен одиночный геофон GS-One ("Одиночный геофон"). В таблице 2 приведена краткая характеристика параметров сейсмической съемки. Для записи использовалась система Sercel 428 XL System с К-усилением 12 дБ при сравнительных испытаниях "Группы геофонов" и "Одиночного геофона". Источником служили 900-граммовые заряды взрывчатого вещества, заложенные во взрывные скважины глубиной 10 метров.

Исходные материалы (необработанные данные)

На Рис. 1 приведены исходные (необработанные) данные, соответствующие пункту возбуждения, расположенному вблизи центра профиля. На левом изображении приведены данные, полученные с использованием "Группы геофонов", в центре –



▲ Рис. 1. Исходные материалы, соответствующие пункту возбуждения 1288 (около середины профиля). Верхний график показывает значение энергии каждой трассы. Красная кривая показывает разницу энергий сейсмограммы "Группы геофонов" и сейсмограммы "Одиночного геофона".

данные, полученные с помощью "Одиночного геофона", а на правом изображении показаны данные с "Одиночного геофона" с применением масштабирования по амплитуде. Данные, полученные с использованием "Одиночного геофона", показывают среднеквадратичную амплитуду на 1 – 1,5 дБ ниже (энергию ниже на 2 - 3 дБ), чем данные, полученные с помощью "Группы геофонов".

Грубое суммирование (Предварительный разрез)

На Рис. 2 показаны предварительные разрезы, к которым были применены деконволюция сжатия (обратная фильтрация сжатия) и геометрическое восстановление амплитуд (что соответствует разному "Группы геофонов" и разному "Одиночного геофона"). Обе картинки весьма схожи. Разница между ними в основном связана со случайными помехами. И вновь, мы наблюдаем более высокие значения амплитуд данных, полученных с помощью "Группы геофонов", по сравнению с данными, полученными с использованием "Одиночного геофона". Эта разница находится в

▼ Табл. 2

Расстояние между источниками возбуждения	60 м
Расстояние между пунктами приема	15 м
Максимальная кратность	24
Мин. число активных каналов	96
Ближайшее удаление точки взрыва	7,5 м
Длина взрывного профиля	9,42 км
Шаг дискретизации	2 мсек
Количество пунктов возбуждения	158
Количество каналов	628
Макс. число активных каналов	192
Расстояние между ОГТ	3,75 м
Длина приемной линии полной кратности	6,6 км
Фильтр Найквиста	200 Гц

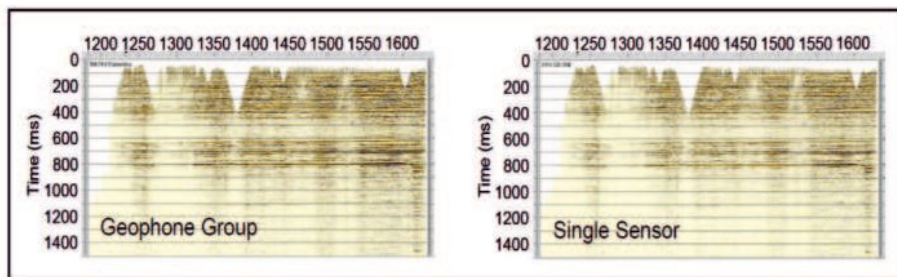


Рис. 2. Предварительные разрезы данных, полученных с использованием "Группы геофонов" (слева), и данных, полученных с помощью "Одиночного геофона" (справа).

интервале 2 and 3 дБ (по энергии) – то же самое значение отмечалось и в записях необработанных данных.

Амплитудный и фазовый спектры

Чтобы убедиться в том, что данные, получаемые от "Одиночного геофона", полностью согласуются с данными, получаемыми от традиционных групп, мы произвели расчет амплитудных и фазовых спектров для обоих комплектов данных с использованием предварительных разрезов. Помимо этого, мы провели потрассную перекрестную (кросс-) корреляцию между данными, полученными с помощью "Группы геофонов", и данными от "Одиночного геофона". Результаты представлены на Рис. 3. Как наглядно следует из рисунка, амплитудные и фазовые спектры для обоих наборов данных по сути идентичны. Взаимная корреляция между трассами, полученными с использованием двух наборов данных, показывают максимумы при $t=0$ и явную симметрию, что можно ожидать от трасс с одной и той же

фазой.

Подавление (Затухание)

Для сравнения подавления (затухания) данных "Группы геофонов" и данных "Одиночного геофона", для обоих комплектов данных мы произвели расчет AVO (зависимости амплитуды отражения от удаления) в разных временных интервалах. На Рис. 4 показаны результаты для обоих комплектов данных для интервала ("окна") от 0 до 4 000 миллисекунд. В других временных интервалах ("окнах") получены аналогичные результаты. Можно видеть, что коэффициент затухания для обоих комплектов данных одинаков, и это находит подтверждение при масштабировании данных, полученных от "Одиночного геофона", с использованием постоянного коэффициента 1,3 [Рис. 4(b)]. Параллельность кривых затухания и тот факт, что разность для всех рассмотренных временных интервалов ("окон") постоянна (1,14 дБ по амплитуде, 2,28 дБ по энергии), приводят к

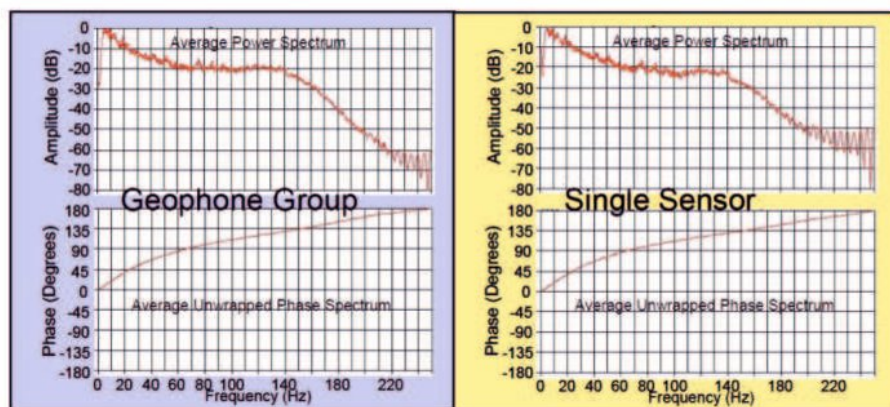
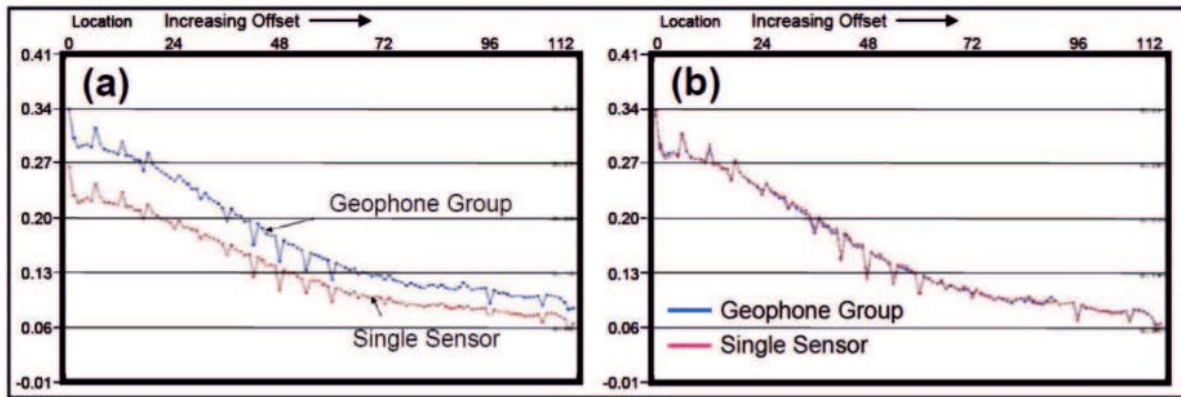


Рис. 3. Средние амплитудные и фазовые спектры для предварительных разрезов "Группы геофонов" и "Одиночного геофона".



▲ Рис 4. (а) AVO (зависимость амплитуды отражения от удаления) для обоих комплектов данных для временного интервала ("окна") от 0 до 4 000 миллисекунд. (б) AVO (зависимость амплитуды отражения от удаления) для данных "Группы геофонов" и "Одиночного геофона" для временного интервала ("окна") от 0 до 4 000 миллисекунд, когда данные "Одиночного геофона" были масштабированы с использованием постоянного коэффициента 1,3.

выводу о том, что затухание для обоих комплектов данных одинаково, как по сдвигу, так и по временному интервалу.

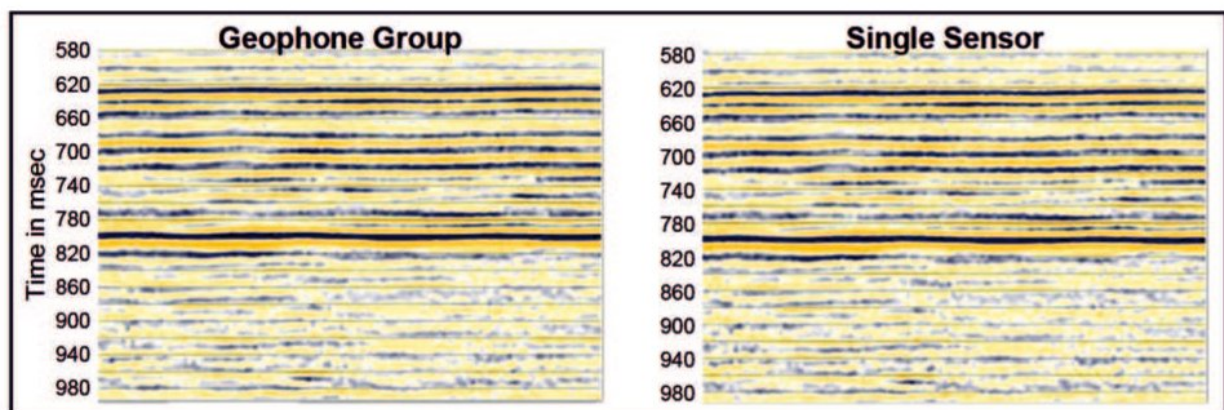
Обработанные профили PSTM (временная миграция до суммирования)

Профили, записанные с использованием "Группы геофонов" и с использованием "Одиночного геофона", были подвергнуты временной миграции до суммирования (Pre-Stack Time Migration). Между двумя профилями заметных различий обнаружено не было, что подтверждается Рис. 5, на котором приведены подробные

изображения разрезов в интервале сейсмического объекта исследований.

Преимущества с точки зрения эксплуатации

Проводивший опытные работы подрядчик (South American Exploration) утверждает, что для перемещения пунктов приема, состоящих из одного геофона, требуются примерно в два раза меньше рабочих, чем для перемещения групп, состоящих из 6 элементов. Кроме того, при использовании одиночных геофонов по сравнению с использованием групп из шести геофонов значительно сокра-



▲ Рис. 5. Подробности у сейсмической цели PSTM-разрезы данных, полученных с помощью "Группы геофонов" (слева) и "Одиночного геофона" (справа).

щаются затраты на транспорт.

Выводы

- Чувствительность применявшегося "Одиночного геофона" составляет 85,8 В/м/сек, что на 1,63 дБ ниже чувствительности группы из шести последовательно соединенных геофонов (125 В/м/сек), замеренной с использованием тестера групп геофонов. Что касается относительных амплитуд, фактически наблюдавшихся в ходе полевых испытаний, то их отношение составляет 1,3 к 1 (1,14 дБ), что является незаметным, если учитывать большой динамический диапазон большинства сейсморегистрирующих систем (130 дБ).

- Затухание с расстоянием и со временем пробега волны идентично для обоих типов приемников.

- Для шестиэлементной группы и для одиночного геофона GS-One амплитудные и фазовые характеристики одинаковы.

- С практической точки зрения разницы между данными, полученными с помощью 6-элементной группы, и данными, полученными с использованием одиночного геофона GS-One, нет.

- Использование одиночного геофона имеет эксплуатационные преимущества по сравнению с использованием группы геофонов.

Благодарность

Мы выражаем благодарность компании Pacific Rubiales Energy и корпорации OYO Geospace за разрешение опубликовать результаты, представленные в настоящей статье. Корпора-

ция OYO Geospace бесплатно предоставила компании Pacific Rubiales Energy использовавшиеся в испытаниях геофоны GS-One, а компания South American Exploration (SAE) произвела регистрацию сейсмоданных в ходе полевых испытаний. Карлос Родригес (Carlos Rodriguez) из компании Petroseis (Богота) и Уилфред Милан (Wilfred Milan) из компании Vector Seismic (Хьюстон) предоставили ценные рекомендации в области анализа сейсмических данных, а также произвели обработку материалов теста. Предварительный анализ результатов испытаний обсуждался с Дэном Ву из корпорации OYO Geospace. У нас была возможность обменяться точками зрения по вопросам чувствительности геофонов и динамического диапазона аналоговых систем. Мы благодарим его за очень ценные замечания. И, наконец, Эдвин Химено (Edwin Jimeno), также из корпорации OYO Geospace, взял на себя все организационные вопросы, необходимые для проведения этого эксперимента.

Список использованной литературы

1. Веб-сайт ION Products—Sensor Geophones
<http://www.geophone.com/techpapers/Geophone-brochure.pdf>, дата доступа 13 января 2012 г.
2. Веб-сайт OYO Geospace -
<http://www.oyogeospace.com/technologies/index.php?id=28>, дата доступа 13 января 2012 г.
3. Веб-сайт Sercel -
<http://www.sercel.com/Brochures/GeophonesHydrophones.pdf>, дата доступа 13 января 2012 г.

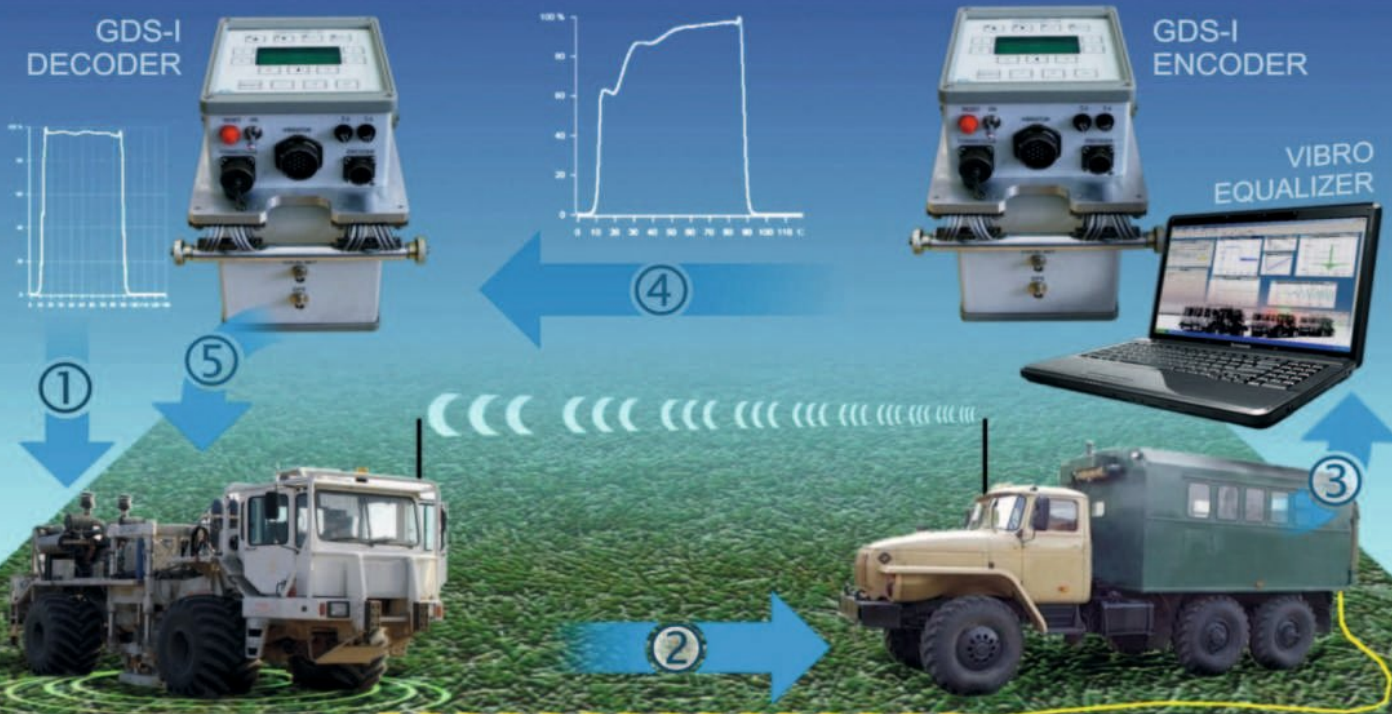


ООО «ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ СИСТЕМЫ ДАННЫХ»

+7(495)234 27 94 Info@gds.ru www.gds.ru



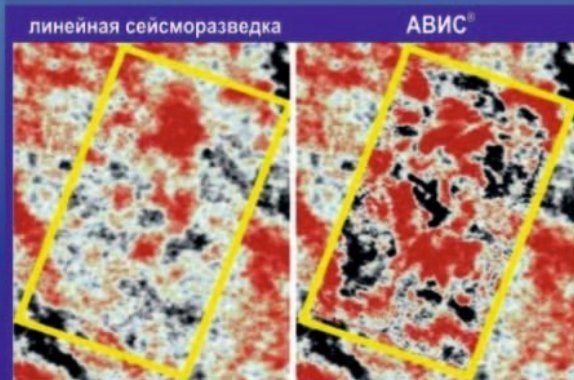
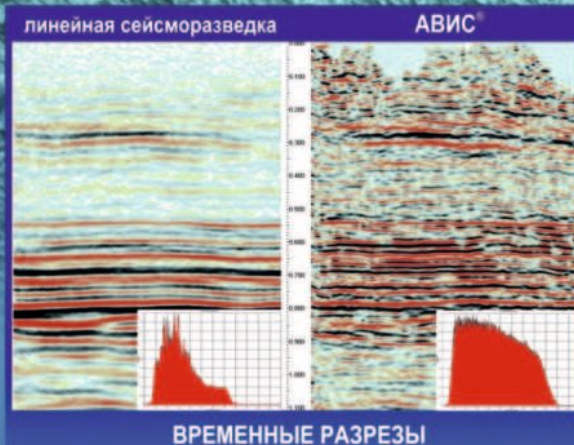
АДАПТИВНАЯ ВИБРАЦИОННАЯ СЕЙСМОРАЗВЕДКА



- ① генерация линейного свип-сигнала на каждом ПВ при первом накоплении;
 - ② регистрация отклика геологической среды;
 - ③ передача виброграммы в программу «Vibro Equalizer» для анализа и расчета корректирующих коэффициентов;
 - ④ передача рассчитанных коэффициентов в блок управления виброисточниками GDS-I®;
 - ⑤ расчет на основании полученных коэффициентов нелинейного адаптированного свип-сигнала и передача его в виброисточники сейсмических колебаний для генерации последующих накоплений.
- Полный цикл адаптации на каждом ПВ производится автоматически в режиме реального времени.

Новая, не имеющая аналогов технология проведения полевых работ АВИС® обеспечивает

- расширение спектра сигнала,
- повышение разрешенности отраженных волн,
- стабилизацию динамических характеристик записи на площади работ



ГОРИЗОНТАЛЬНЫЕ СРЕЗЫ 3D КУБОВ

Многокомпонентные установки сейсмоприемников и перспективы их применения

- Куколенко О.В. ФГУП «НВНИИГГ», г. Саратов, Тарасов Н.В., Гнатюк А.И.
ОАО «СКБ сейсмического приборостроения», г. Саратов, Селезнев В.А., Зуб Е.А.,
Чернышев В.В. ФГУП «НВНИИГГ», г. Саратов,
Навроцкий А.О. ООО «Сибгеотехсервис» г. Москва

Многоволновая сейсморазведка (МВС) является одним из перспективных направлений в развитии сейсморазведки, поскольку помимо выявления геометрии структурных объектов позволяет более надежно охарактеризовать состояние пород, слагающих эти объекты, литологический состав, трещиноватость, структуру порового пространства и др.

Исследования, связанные с совместным использованием продольных (PP) и поперечных (S,PS) волн, начались на 5-10 лет раньше, чем на Западе [1], в 60-е годы прошлого столетия.

До 1991 года по МВС работало 20 сейсморазведочных партии, что составляло около 15 % от общего объема сейсморазведочных работ в СССР, в то время, как за рубежом эта цифра не превышала 5%. В настоящее время объем работ по МВС за рубежом вырос до 20-40 % от общего объема, в то время как в России они практически не проводятся [2].

По данным обзора [3] относительные объемы работ на PP и PS волнах распределяются следующим образом: США – 42%, Европейские страны – 35% , Канада и Латинские страны – 19% и другие страны – 4%. Отмечается, что значительная часть работ на PP и PS волнах применяется при морской сейсморазведке.

Характеризуя преимущество совместного использования продольных и поперечных волн при решении

геологических задач, включая оценку коллекторских свойств исследуемых отложений, т.е. МВС, по ряду публикаций [1-4] просматривается общая тенденция широкого использования PS волн, как основного источника поперечных волн SV типа. Ориентация на чисто поперечные SS волны SH типа по ряду причин мало перспективна. Чтобы повысить эффективность сейсморазведочных работ в стране, необходимы определенные усилия по совершенствованию технологии МВС и более широкому ее применению. Реализация МВС непосредственно связана с применением многокомпонентных установок сейсмоприемников.

Традиционно в МВС используются трехкомпонентные ортогональные установки сейсмоприемников (Z,X,Y- один вертикальный и два горизонтальных). Такая установка может быть достаточна при морских работах, где регистрируемое волновое поле значительно проще, чем при работах на суше, за счет выдержанности условий возбуждения сейсмических колебаний в однородной водной среде. При работах на суше волновое поле значительно сложнее. Вертикальный сейсмоприемник (Z компонент) регистрирует в большей части случаев заинтерферированное волновое поле продольных PP волн. Горизонтальный сейсмоприемник (X компонент), располагаемый вдоль линии профиля, регистрирует обмен-

ные PS волны, которые заинтерферированы фоном продольных волн. Горизонтальный сейсмоприемник (Y компонент), располагаемый перпендикулярно линии профиля, как правило, неинформативен [5].

С целью повышения качества выделения PP и PS волн при работе на суше в 90-е годы НВНИИГГ выполнены исследования по изучению характера смещения частиц среды сейсмических колебаний на дневной поверхности. Исследования показали, что:

- большинство регистрируемых волн интерференционны;
- волны-спутники, частично-кратного типа, сопровождающие полезный импульс отраженной волны, увеличивая его длительность, отличаются по поляризации.

На основании этих исследований был обоснован высоконаправленный прием сейсмических колебаний по признаку поляризации (ВП) и одновременно высоконаправленная поляризационная модификация ОГТ (ВП ОГТ). Суть ВП и ВП ОГТ и их эффективность изложена в серии статей [5-9].

Для реализации высоконаправленного приема по признаку поляризации и ВП ОГТ сконструирована многокомпонентная установка сейсмоприемников – азимутальная многокомпонентная установка сейсмоприемников (АМУС). На конструкцию азимутальной установки выдан «Сертификат соответствия Центральным сертификационным органом системы сертификации геофизической продукции Госстандарта РФ» [5]. Внешний вид сейсмоприемного устройства АМУС показан на рис.1. Схема конструкции с размещением сейсмоприемников на общей платформе

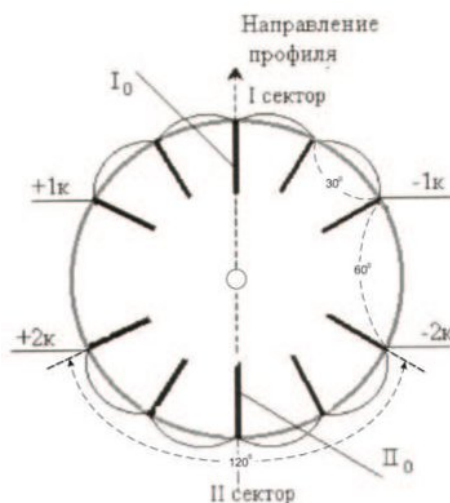


▲ Рис. 1. Внешний вид сейсмоприемного устройства азимутальной многокомпонентной установки сейсмоприемников АМУС (вид сбоку)

(плите) представлена на рис.2.

На рисунке 2 показаны проекции осей максимальной чувствительности сейсмоприемников на горизонтальную плоскость (общую плиту). Здесь представлен вариант для двухкомпонентной установки (I, II) с азимутальным группированием сейсмоприемников, образуя сектор I для 1-го компонента и противоположный сектор II для 2-го компонента. Сейсмоприем-

▼ Рис. 2. Схема размещения сейсмоприемников на общей плате азимутальной многокомпонентной установки сейсмоприемников АМУС



ники в каждой группе (5 штук) соединены последовательно. В каждой группе сейсмоприемники разнесены на 30° по азимуту. Общий охват I, II секторов по азимуту составляет 120° . Все сейсмоприемники наклонены и их наклон составляет $35^\circ 20'$ к горизонту (или $54^\circ 40'$ к вертикали, «Гальперинский угол» [10]). Сейсмоприемники ввернуты в сегменты под углом $35^\circ 20'$ (рис.1). Используются сейсмоприемники GS-20DX-1, которые настроены для работы под углом $35^\circ 20'$ к горизонту. Такие сейсмоприемники изготавливает ООО «Геоспейс Технолджис Евразия» г.Уфа.

Приемная установка АМУС в определенной степени универсальна и позволяет реализовать несколько вариантов:

- двухкомпонентную установку сейсмоприемников с азимутальным группированием;

- двухкомпонентную установку сейсмоприемников с одиночными приборами, установленными на сегменты I_0 и II_0 ;

- трехкомпонентную симметричную установку I, II, III с одиночными приборами (предложенную Гальпериным Е.И. [9]), установленными на сегменты, разнесенные по азимуту на 120° (все три компоненты ортогональны, но составляют с горизонтом $35^\circ 20'$). Преимущество такой установки перед ортогональной (Z, X, Y) заключается в том, что на каждую компоненту можно установить одностипный сейсмоприемник;

- трехкомпонентную установку с азимутальным группированием сейсмоприемников в пределах секторов I и II и одиночным вертикальным сейсмоприемником (GS-20DX), который

вворачивается в резьбовое отверстие в центре плиты (рис.2).

Все варианты установок сейсмоприемников позволяют реализовать высоконаправленный прием по признаку поляризации (ВП).

Напомним, что суть высоконаправленного приема по признаку поляризации (ВП) заключается в выделении линейно-поляризованной части сейсмического колебания и ослаблении или отсечении нелинейной (расфазированной) части этого колебания. В итоге регистрируемые импульсы отраженных волн укорачиваются, а сейсмическая запись в целом становится динамически более разрешенной, повышается соотношение сигнал/помеха, частично возрастает временная разрешенность. Все это реализуется в процессе обработки и преобразований двухкомпонентных записей по ВП. Преобразования могут быть направлены на выделение поля продольных РР волн или волн поперечного типа (PS, S).

При 3-х компонентной регистрации через полный вектор сейсмического колебания рассчитываются составляющие полного спектра на любое направление по пространству и углу его наклона, в том числе, по направлению 1-го и 2-го компонентов (I_0 и II_0 , рис.2). Записи этих компонент преобразуются по ВП. На начальном этапе обоснования ВП при опытных работах опробованы все варианты АМУС и результаты опытов показали их равнозначность.

В модификации ВП ОГТ до настоящего времени АМУС использовалась в варианте двухкомпонентной установки сейсмоприемников с азимутальным группированием. Опытное опро-

бование ВП ОГТ осуществлено в различных сейсмогеологических условиях Поволжского и Северокавказского регионов (на территориях приподнятой и опущенной частях Русской плиты) и везде получен положительный эффект на продольных РР волнах по сравнению со стандартной методикой ОГТ (под стандартной методикой ОГТ понимаются все модификации ОГТ с использованием вертикальных сейсмоприемников) [5].

За последние 5-6 лет выполнены работы ВП ОГТ в производственном режиме при решении геологических задач в сложных геологических условиях в объеме 1200 п.км. Работы

выполнялись, в основном, с ориентацией на выделение и использование продольных волн.

Последние работы выполнялись на Озинской площади Саратовской области в условиях развитой солянокупольной тектоники во внутренней части Прикаспийской впадины. В результате этих работ по ВП ОГТ получены более качественные временные разрезы по сравнению со стандартной методикой ОГТ и выделена достаточно крупная Озинская структура по подсольевым отложениям. Предыдущими работами по стандартной методике ОГТ выделить структуру не удавалось. В качестве примера, на рис. 3 для

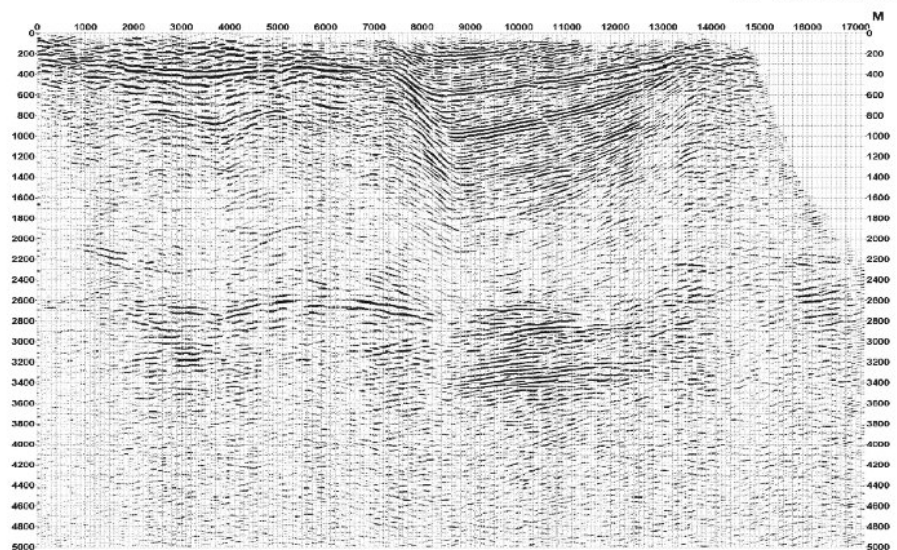
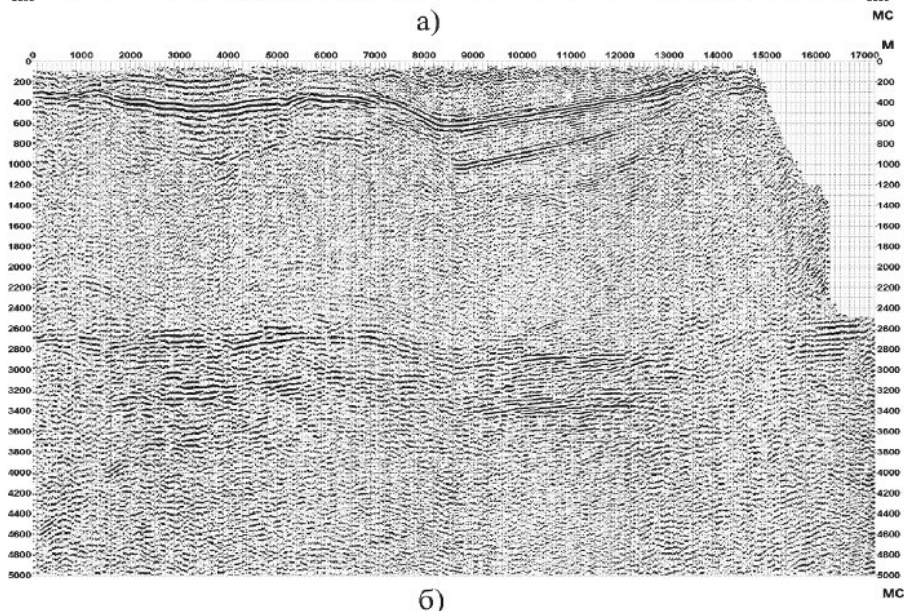


Рис. 3. Временные разрезы РР волн по профилю 15, Озинская площадь:

а) для стандартной модификации ОГТ, Σ_{60} (группа вертикальных сейсмоприемников);

б) для высоконаправленной поляризационной модификации ОГТ, Σ_{60} (ВП ОГТ - многокомпонентная установка АМУС)



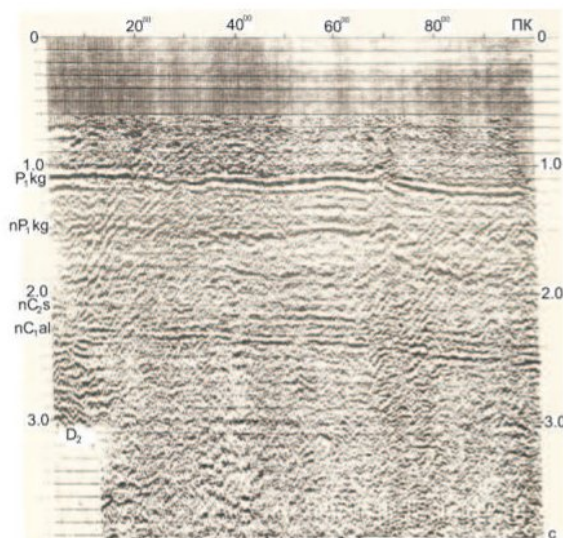
Озинской площади проиллюстрировано сравнение временных разрезов для стандартной методики ОГТ (рис.3а) и ВП ОГТ (рис.3б) по профилю 15. Сравнение временных разрезов показывает, что волновое поле на разрезе ВП ОГТ динамически более выражено, подсолевой комплекс освещен более полно и позволяет выполнить более логичную корреляцию подсолевых горизонтов.

Из настоящей и ранее опубликованных статей следует, что применение ВП ОГТ позволяет более качественно решать на РР волнах структурную задачу сейсморазведки. Что касается реализации МВС в полном объеме, т.е. совместного использования РР и PS волн, по оценке состояния пород, слагающих выделяемые объекты, на данный момент существуют определенные проблемы.

Одной из важнейших задач является надежное выделение PS волн на сейсмограммах и составление по ним суммарных временных разрезов. В нашем опыте использования ВП ОГТ представилось возможным выделить PS волны и составить суммарные временные разрезы PS волн на опытных профилях Перелюбской площади (1993г) и Каменско-Золотовской зоны (1995г).

На Перелюбской площади (Саратовское Левобережье) работы проводились при недостатке количества установок АМУС (этап начального опробования ВП ОГТ), поэтому кратность суммирования невысокая, всего лишь $K=17$, профиль 215 (рис.4). Несмотря на малую кратность, на временном разрезе PS волн удалось выделить все достаточно интенсивные основные горизонты осадочного

Рис. 4. Временной разрез PS волн составленный по сейсмограммам PS волн, выделенных после преобразований двух компонентных записей АМУС, Σ_{17} , профиль 215, Перелюбская площадь (1993 г.)



чехла.

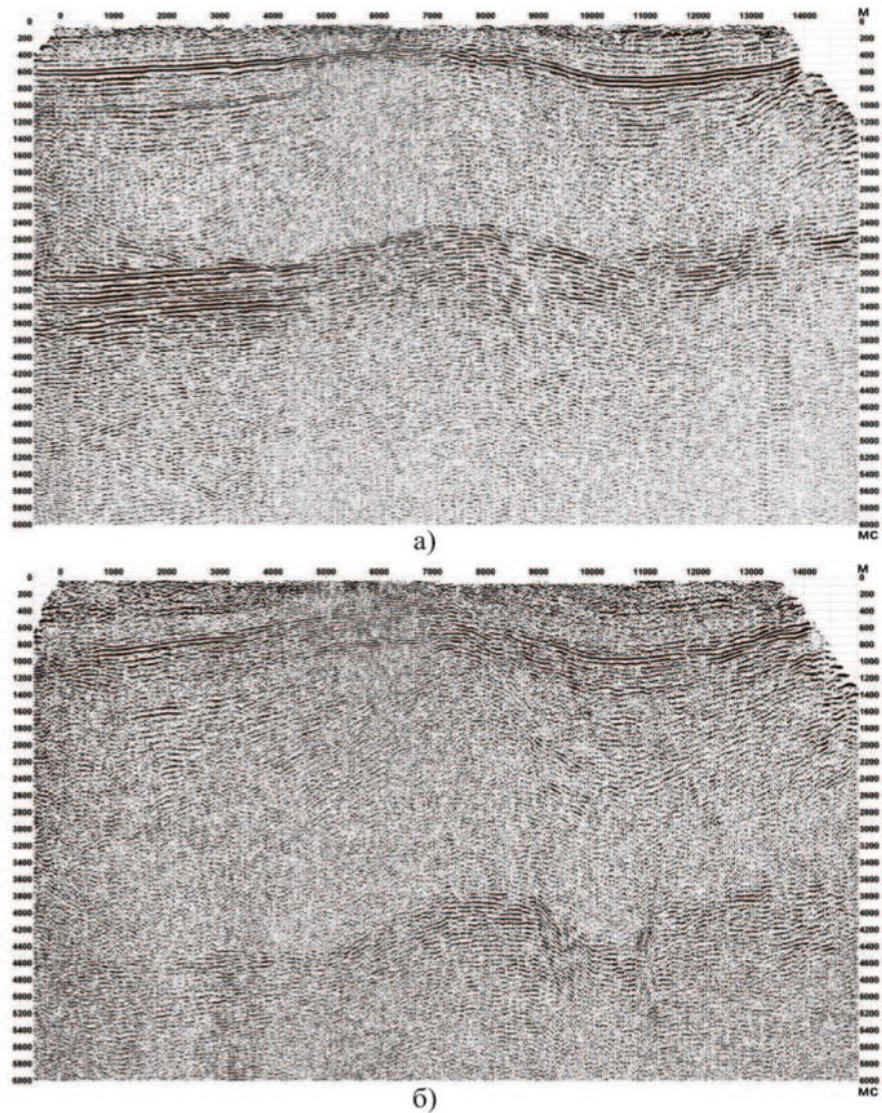
На Каменско-Золотовском участке (Саратовское Правобережье) получены временные разрезы РР и PS, проинтерпретированы и получены интервальные соотношения скоростей поперечных и продольных волн $= VS / VP$ вдоль перспективных в нефтегазовом отношении толщ и на основании локального уменьшения параметра предположительно выделены объекты типа «Риф» [9]. Сейсмогеологические условия рассмотренных территорий относительно просты: горизонтально слоистая среда, глубина фундамента не превышает 4км. Выделение и суммирование PS волн в таких условиях наиболее благоприятно.

Последующие работы по ВП ОГТ проводились в сложных сейсмогеологических условиях, например, развитой соляной тектоники Прикаспийской впадины, где основными объектами являются подсолевые отложения. В таких условиях получить сум-

Рис. 5. Временные разрезы
ВП ОГТ (установка АМУС)
по профилю 25, Озинская пл.:

а) временной разрез
продольных РР волн, Σ_{60} ;

б) временной разрез
обменных PS волн, Σ_{60} .



марный временной разрез PS волн достаточно сложно. Был сделан ряд попыток для получения информации по PS волнам, но, в лучшем случае, получали информацию по надсолевым горизонтам.

В поисках решения рассматриваемой задачи, используя нетрадиционные подходы к обработке PS волн, на Озинской площади по профилю 25 получены временные разрезы по РР и PS волнам (рис.5). Временной разрез PS волн (рис.5б) далек от совершенства и требует дальнейших поисков и совершенствования обработки PS волн. Полученный результат – «первая ласточка», свидетельствующая о возможности получения информации

по PS волнам о строении подсолевого комплекса отложений в условиях развитой соляно-купольной тектоники. Даже при таком качестве временного разреза PS волн (рис. 5б) при его рассмотрении можно отметить, что обменные волны подтверждают модель строения подсолевых горизонтов по РР волнам. Более четко отображается нарушение, хорошо выделяются мульды достаточно четкими отражениями от надсолевых отложений и др. Для прогнозирования коллекторских свойств отложений в пределах выделяемой структуры с использованием AVO анализа, сейсмических инверсий и др., необходимо повышение качества временного

разреза PS волн.

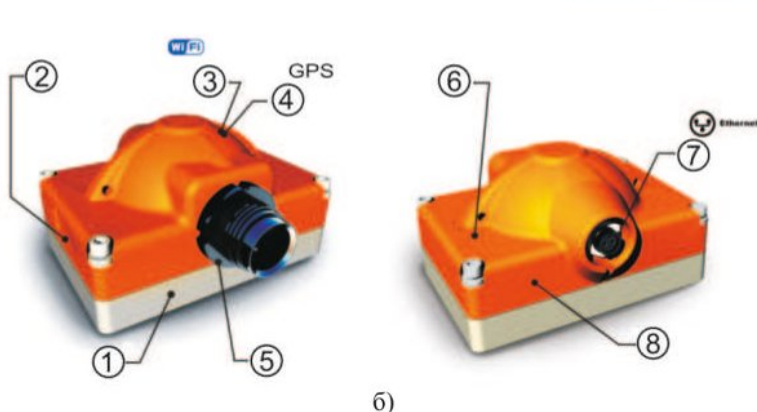
Большое значение для широкого распространения ВП ОГТ и МВС в целом имеет технология ведения полевых работ. Так при работах ВП ОГТ используются 2 компонента и две параллельные сейсмические косы: одна подключается к 1-му компоненту, другая ко 2-му компоненту. Если используется 3-х компонентная установка сейсмоприемников, то необходимо задействовать три косы. Все это осложняет полевые работы.

В 2010 г. ОАО «СКБ сейсмического приборостроения» (ОАО «СКБ СП») г.Саратов разработало бескабельную телеметрическую сейсморегирующую систему «SCOUT» (БТСС «SCOUT»), которая по технико-экономическим характеристикам не уступает зарубежным аналогам.

БТСС «SCOUT» является автономной бескабельной системой сбора и хранения сейсмоданных с синхронизацией процесса регистрации с использованием спутникового сигнала GPS и включает в себя (рис.6а):

- Систему управления данными;
 - Полевые блоки сбора данных (бескабельные одноканальные регистраторы БОР-1);
 - Модуль переноса данных;
 - Модуль синхронизации и вспомогательных каналов;
 - Портативный компьютер;
 - Модуль заряда внутренней батареи.
- Особенностями системы являются:
- Встроенные GPS-приёмник и синхронизируемые часы;
 - Встроенный генератор тест-сигналов с высоким разрешением;

► Рис. 6. Оборудование автономной бескабельной системы SCOUT:
а) состав системы;
б) полевой модуль БОР-1 с его наполнением



- а)
- 1 - встроенная аккумуляторная батарея для длительной автономной работы;
 - 2 - встроенный датчик Холла для управления питанием;
 - 3 - встроенный Wi-Fi модуль для беспроводной передачи данных;
 - 4 - система GPS (высокоточная синхронизация по времени и определение координат);
 - 5 - разъем для подключения геофонов;
 - 6 - энергозависимая Flash память до 32Gb;
 - 7 - высокоскоростной порт Ethernet;
 - 8 - прочный герметичный корпус.

- Флэш-память до 32 ГБ;
- Возможность неограниченного наращивания канальности системы;
- Возможность непрерывной записи в течение 25 суток;
- Управление блоком автономной регистрации посредством Wi-Fi и Ethernet протокола;
- Совместимость с вибрационными и взрывными/невзрывными импульсными источниками возбуждения сейсмических колебаний;
- Светодиодный индикатор, показывающий состояние регистратора и его готовность к работе;
- Прием сигналов от стандартных аналоговых датчиков.

Регистратор БОР-1 (рис.6б) спроектирован для записи сейсмоданных без использования кабелей и радиоканала. БОР-1 включает в себя: один канал с 24-х разрядной оцифровкой, встроенный высокочувствительный GPS-приемник, тактовый генератор, встроенный генератор тестовых сигналов, энергонезависимую память емкостью до 32 Гбайт и высокоскоростной порт Ethernet для передачи данных. При потере сигнала GPS тактовый генератор может сохранять точное время в течение 2-х часов.

Регистратор БОР-1 имеет герметичный корпус, на котором имеются два разъема: один для подключения геофона, а второй для присоединения блока внешнего аккумулятора большой емкости, проведения процедуры заряда внутренней аккумуляторной батареи, а также считывания записанной информации.

БТСС «SCOUT» выполняет тестирование работоспособности цепей сейсмического канала и геофонов. Пользователь может на свой выбор

задать программу тестирования – одиночный или пакетный тест. По желанию пользователя можно вывести либо результаты полного тестирования, либо только данные о неполадках. Собираемые и используемые для анализа данные записываются во флэш-память регистратора БОР-1. При проведении тестов программа автоматически управляет последовательностью выполнения тестов и параметрами генератора тест-сигналов. Все тесты проводятся в рабочей конфигурации всех параметров регистратора БОР-1.

БТСС «SCOUT» может выполнять полевые работы комбинированным способом, когда на одном профиле размещены любая кабельная сейсмодатчик и регистраторы БОР-1, работающие от одного источника возбуждения. Формирование единой сейсмограммы производится в формате SEG-D.

Программный комплекс состоит из двух программных модулей:

«БОР-сервис» и «БОР-станция».

Программный модуль «БОР-сервис» используется:

- для диагностирования регистраторов БОР-1 и подключенных к ним групп геофонов;
- для задания параметров регистрации регистраторам БОР-1;
- для считывания информации о состоянии регистраторов БОР-1;
- для считывания сейсмической информации.

В процессе программирования регистраторов БОР-1 перед их размещением на местности, устанавливаются такие параметры как период дискретизации, коэффициент предварительного усиления, режим записи,

параметры тестирования.

Программный модуль «БОР-станция» используется:

- для описания топологии расстановки и списка ПВ вручную или импортированием из SPS файлов;
- для получения точных значений отметок момента (ОМ) для каждого накопления на каждом ПВ и сохранения их в базе данных;
- для построения сейсмических записей для каждого ПВ с использованием следующей информации:
 - данных о точных временах ОМ, сохраненных в базе данных;
 - файлов сейсмических данных, зарегистрированных регистраторами БОР-1;
 - SPS R-файлов, содержащих топо-

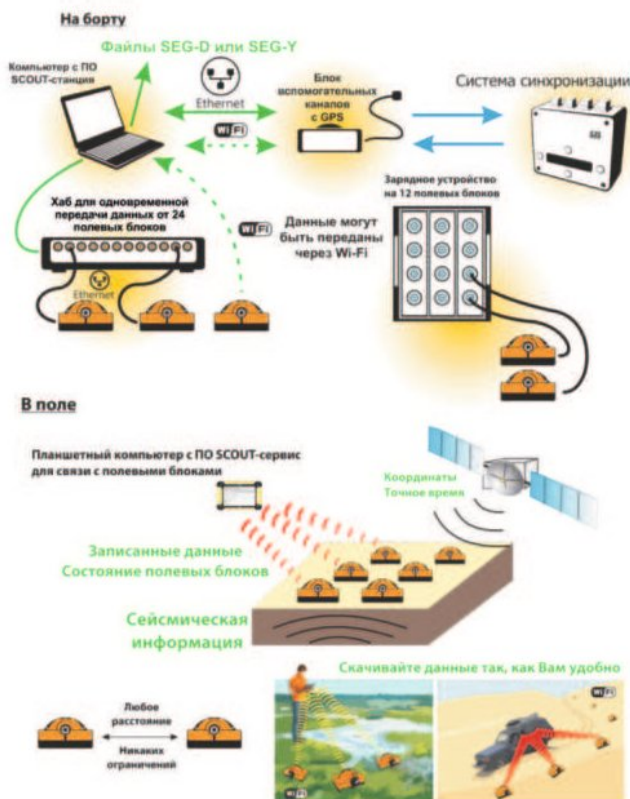
гию пунктов приема.

Принципиальная схема работы системы SCOUT показана на рис.7. Перед началом работ на профиле устанавливают блок синхронизации и вспомогательных каналов в кабине оператора и подключают кабель к блоку управления и синхронизации виброисточников/импульсных источников для записи свип- сигнала и КОМ на управляющий компьютер. На крыше кабины устанавливают выносную антенну для связи со спутником и получения меток точного времени с последующей их регистраций блоком синхронизации вспомогательных каналов. Дальнейший процесс полевых работ аналогичен кабельной системе. Команда «Старт» задается с управляющего компьютера в блок синхронизации и вспомогательных каналов, где формируется импульс «Старт» для системы управления источником. Обратно поступают импульс КОМ и метки времени со спутника.

В 2010г на Озинской площади осуществлено опробование бескабельной системы «SCOUT». Отработано 123 п. км по профилям, которые несколько месяцев ранее были пройдены с использованием кабельной системы по методике ВП ОГТ.

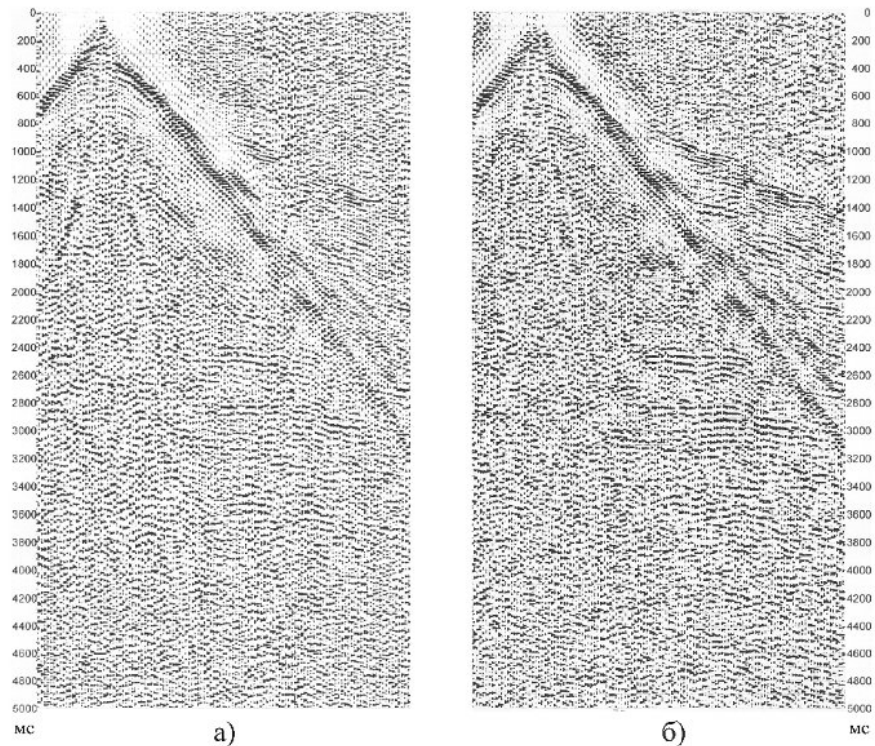
При ВП ОГТ использована многокомпонентная установка АМУС, при бескабельной системе «SCOUT» использована группа вертикальных сейсмоприемников, т.е. стандартная методика ОГТ. Параметры систем наблюдения и вибрационных возбуждений в обоих вариантах идентичны.

В результате выполненных работ



▲ Рис. 7. Принципиальная схема работы бескабельной системы "SCOUT" на борту и в поле.

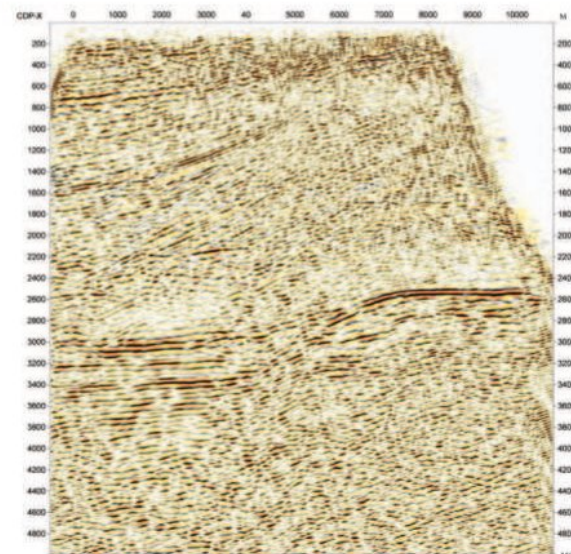
► Рис. 8. Сравнение сейсмограмм РР волн, зарегистрированных бескабельной и кабельной системами, профиль 21, Озинская площадь:
а) сейсмограмма, зарегистрированная бескабельной системой "SCOUT" (группа вертикальных сейсμοприемников);
б) сейсмограмма, зарегистрированная кабельной системой (установка АМУС, после преобразований двухкомпонентных записей по ВП).



получена сейсмическая информация с кабельной и бескабельной технологиями ведения полевых работ. В качестве примера на рис.8 приведены сейсмограммы, зарегистрированные бескабельной системой «SCOUT» (рис.8а) и кабельной системой (рис.8б). Сравнительная оценка показывает, что по форме записи, временам регистрации выделяемых отражений от надсолевых и подсолевых отложений сейсмограммы тождественны. Несколько динамичнее с ослаблением кратных преломлено-отраженных волн-помех выглядит сейсмограмма при кабельной регистрации волн (рис.8б), но это ни в коей мере не касается точности регистрации сейсмической записи бескабельной системы «SCOUT», так как при этой системе регистрации использовалась группа вертикальных сейсμοприемников, а при кабельной регистрации – многокомпонентная уста-

новка АМУС и сейсмограмма (рис.8б) получена после преобразования 2-х компонент по ВП.

По всем профилям, отработанным бескабельной системой «SCOUT», получен качественный сейсмический материал, составлены хорошего



▲ Рис. 9. Суммарный временной разрез, Σ_{60} , составленный по сейсмограммам, зарегистрированным бескабельной системой SCOUT, профиль 19а, Озинская площадь.

качества временные разрезы, соответствующие стандартной методике ОГТ.

В качестве примера, по профилю 19а представлен временной разрез (рис.9), на котором наблюдается качественное выделение отражений от надсолевого и подсолевого комплексов отложений в соответствии с моделью изучаемой среды. Это свидетельствует о том, что первичные сейсмические записи вдоль профиля, собранные бескабельной системой «SCOUT», зарегистрированы без каких-либо временных сдвигов и искажений, с качественной записью амплитуд и т.п., что и позволило их просуммировать и получить качественный временной разрез.

Все выше изложенное, а так же тот факт, что при опытном опробовании бескабельная система «SCOUT» позволила повысить существенно производительность и рентабельность работ по сравнению с кабельной регистрацией при ВП ОГТ, убедительно свидетельствуют о том, что бескабельная система «SCOUT» является весьма надежной высокоэффективной сейсморегистрирующей системой и в ближайшем будущем должна найти широкое применение при выполнении сейсморазведочных работ как в стране, так и за рубежом.

В 2012 году ОАО «СКБ СП» разработало новый автономный трёхканальный регистратор для бескабельной системы «SCOUT». Данный регистратор по форме и внешнему виду ничем не отличается от БОР-1 (рис. 6 б), но

позволяет регистрировать сейсмическую информацию на 3-х каналах. Система управления «SCOUT» сохраняется прежней. Применение трехканальных автономных полевых модулей открывает большие перспективы для использования двух-трехкомпонентных установок сейсмоприемников, включая АМУС, при выполнении сейсморазведочных работ.

Кроме того, имеется возможность подключения гидрофона к любому входу трёхканального автономного блока.

За счет упрощения ведения полевых работ многоволновая сейсморазведка (МВС) должна получить более широкое распространение на суше, первоначально в простых сейсмогеологических условиях. Именно в этих условиях проще выделять PS волны и составлять временные разрезы PS волн (рис.4), а также отрабатывать приемы совместной интерпретации PP и PS волн с привлечением AVO анализа, сейсмических инверсий и др. с целью прогноза коллекторских свойств и других характеристик исследуемых отложений.

В настоящее время практикуется применение сейсмических инверсий, используя только поле продольных PP волн, при этом сдвиговые инверсии базируются на ряде допущений и априорных данных о скоростях поперечных волн. При наличии поля PS волн (фактически S волн) сдвиговые инверсии могут быть получены по наблюдаемому полю S волн, что, естественно, повышает достовер-

ность прогноза.

На наш взгляд, распространение МВС целесообразно при использовании установок АМУС в двухкомпонентном или трехкомпонентном вариантах при высоконаправленной поляризационной модификации ОГТ (ВП ОГТ), поскольку эта модификация обеспечивает получение более качественных волновых полей РР и РS волн, в сочетании с бескабельной системой «SCOUT». Наибольшего эффекта следует ожидать в простых сейсмогеологических условиях. Для сложных сейсмогеологических условий, типа развитой соляно-купольной тектоники, необходимо осуществлять поиск более эффективных способов выделения и суммирования РS волн. Что касается конструкции АМУС (рис.1), то ее можно было бы усовершенствовать по габаритам и весу, если бы были разработаны малогабаритные электродинамические сейсμοприемники, но когда это произойдет - неизвестно. В настоящий момент представленная конструкция АМУС работает и дает хорошие результаты и может с успехом использоваться.

Организациям, фирмам, ведущим работы по поиску нефтегазовых объектов, рекомендуем смелее ставить работы МВС по выше изложенной технологии (даже просто кабельный вариант ВП ОГТ), особенно в относительно простых сейсмогеологических условиях, и вам будет сопутствовать успех в открытии месторождений.

Литература:

1. Пузырев Н.Н. Зарождение и развитие многоволновой сейсморазведки в России. Возбуждение и регистрация волн. «Геология и геофизика», Новосибирск 2003, № 4,5, том 44, сс.277-285,465-473.
2. Кузнецов В.М. Многоволновая сейсморазведка – новые перспективы и возможности. Журнал «Приборы и системы разведочной геофизики», Саратовское отделение ЕАГО, № 03(05) 2003.
3. Шнеерсон М.Б. Многоволновая сейсморазведка (краткий обзор зарубежных публикаций). Журнал «Приборы и системы разведочной геофизики», Саратовское отделение ЕАГО, № 03(05) 2003.
4. Жгенти С.А., Перегудов Ю.П., Кузнецов В.М. Многоволновая сейсморазведка (МВС). Журнал «Приборы и системы разведочной геофизики», Саратовское отделение ЕАГО, № 03(05) 2003.
5. Куколенко О.В., Селезнев В.А. К вопросу совершенствования технологий сейсморазведки при изучении глубокозалегающих сложно построенных нефтегазоперспективных объектов. Журнал «Приборы и системы разведочной геофизики», Саратовское отделение ЕАГО, № 03(35) 2011.
6. Куколенко О.В. Высокнаправленный прием сейсмических волн по признаку поляризации. «Недра Поволжья и Прикаспия», региональный научно-технический журнал, НВНИИГГ, четвертый выпуск, февраль 1993,г.Саратов.
7. Куколенко О.В. Патент СССР №1329410, Способ регистрации сейсмических колебаний/ Бюл. № 29, 1987.
8. Куколенко О.В. Обоснование высоконаправленного приема волн по признаку поляризации. Журнал «Приборы и системы разведочной геофизики», Саратовское отделение ЕАГО, № 03(05) 2003.
9. Куколенко О.В., Живодров В.А., Селезнев В.А., Резепова О.П. Технология работ по высоконаправленной поляризационной

модификации ОГТ (ВП ОГТ). Журнал «Приборы и системы разведочной геофизики», Саратовское отделение ЕАГО, № 03(05) 2003.

10. Гальперин Е.И. Поляризационный метод сейсмических исследований. М.,

«Недра», 1977.

11. Куколенко О.В., Воробьев В.Я., Писаренко Ю.А., Соколова И.П., Зуб Е.А., ФГУП «НВНИИГГ», г.Саратов. Оценка возможности выделения нефтегазовой структуры по подсолевым горизонтам во внутренней

Подробнее об авторах



Куколенко
Олег Васильевич

Зав. лаборатории сейсмо-
разведки, к.т.н.



Навроцкий
Александр Олегович

Зам. директора, к.г. - м.н.



Чернышев
Виталий Викторович

Инженер I категории



Зуб
Евгений Алексеевич

Инженер I категории



Тарасов
Николай Васильевич

Исполнительный директор
ОАО "СКБ СП", к.т.н



Гнатюк
Александр Иванович

Главный конструктор
ОАО "СКБ СП"



Селезнёв
Владимир Анатольевич

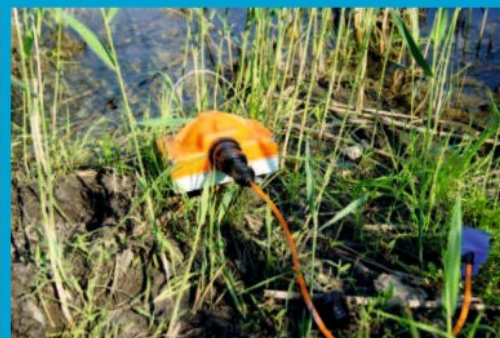
Главный инженер филиала
«Саратовская геофизическая
экспедиция» ФГУП «НВ НИИГГ»

**Бескабельная телеметрическая сейсморегистрирующая система
с передачей данных посредством WiFi**

SCOUT



3-х канальный вариант
полевого блока



32 Bit АЦП
Тмс 0,25-4



Энергонезависимая
Flash память до 32Gb



Ethernet
Высокоскоростной порт
Ethernet



Встроенный Wi-Fi
модуль



Встроенный GPS
модуль



Встроенный датчик Холла
для управления питанием

2D/3D/4D

Любые проекты

25 преимуществ:

Возможность передачи данных в реальном времени
с использованием Wi-Fi

Неограниченное число каналов

Автоматический режим определения координат блока на
профиле

Съем данных без снятия блоков с профиля и
без использования проводов

Контроль параметров расстановки и каждого блока
в реальном времени

32 Гб встроенной памяти

До 25 дней непрерывной работы от встроенного аккумулятора

Работа в местах недоступных для кабельных систем

Внешнее подключение группы геофонов любой конфигурации

Работа с 3-х компонентными геофонами
(одно- и трехканальное исполнение полевых блоков)

Беспроводное включение/выключение питания

Прочный герметичный корпус

Наличие спец. системы зарядки встроенных аккумуляторов

Возможность использования комбинированной расстановки с
любыми кабельными системами

Позволяет организовывать непрерывный
мониторинг месторождений

Формирование выходных файлов в форматах SEG-D и SEG-Y

Возможность подключения внешней батареи, для
увеличения времени автономной работы

Модульная система считывания данных через Ethernet
(со скоростью до 1 Гбит/с)

Светодиодная индикация технического состояния полевых блоков

Рабочий диапазон температур от -40 до +70 °C

Работа с взрывным, импульсным и вибрационным
источниками возбуждений

Высокая мобильность системы (малый вес и габариты)

Автоматическая передача записанных данных с профиля
на станцию при вхождении в зону действия точки доступа Wi-Fi,
установленной на станции (удаленность до 1 км)

Возможность работы в местах с неустойчивым сигналом GPS

Повышенная надежность системы (защита от внешних
воздействий, в том числе, от статического электричества)

**ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО ПО НЕДРОПОЛЬЗОВАНИЮ - РОСНЕДРА рекомендует SCOUT при
проведении сейсморазведочных работ. (<http://www.rosnedra.com/article/5023.html>)**



ОАО "СПЕЦИАЛЬНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ"

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

Дифференциальный приемник для выделения фазовых сдвигов полигармонического случайного сигнала ВП ЕЭМПЗ

■ Шайдуров Г. Я., Потылицын В.С., Сибирский Федеральный Университет

В статье описываются особенности работы приемника для выделения информации о потенциалах вызванной поляризации из естественного электромагнитного поля Земли (ВП ЕЭМПЗ), работающего на принципе измерения группового сдвига фаз шумового сигнала в диапазоне частот 1-20 Гц амплитудным методом.

В [1, 2] приведены результаты лабораторных исследований и полевых испытаний приемника для работы методом ВП ЕЭМПЗ с использованием дифференциальной приемной линии MON. Одним из основных узлов, определяющих качество обработки информации, является двухканальный аналоговый усилитель, обеспечивающий следующие технические требования:

1. Идентичность амплитудно-частотной и фазовой характеристики с точностью не хуже 1 %, в диапазоне температур (-20°C - +40°C);

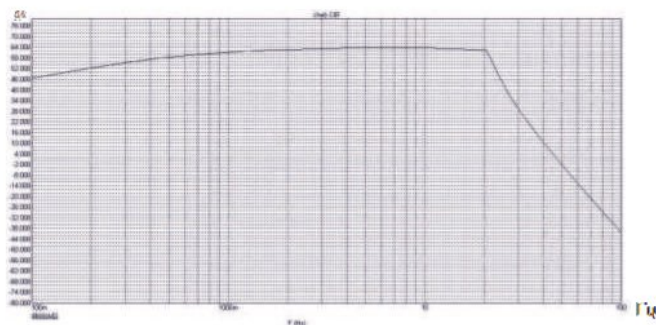
2. Чувствительность по уровню шумов не хуже 10 мкВ и коэффициент передачи порядка 80 дБ;

3. Избирательность по промышленным частотам не хуже 60 дБ по частоте 50 Гц;

4. Защиту от импульсных помех;

5. Входное сопротивление по каналам не менее 3 Мом.

На Рис. 1 приведена общая структурная схема приемника. Аналоговая часть выполнена на операционных усилителях INA128. Частотная фильтрация осуществляется за счет использования микросхем-фильтров на коммутируемых конденсаторах MAX297. Цифровая часть приемника выполнена на однокристальном микроконтроллере MSP430.

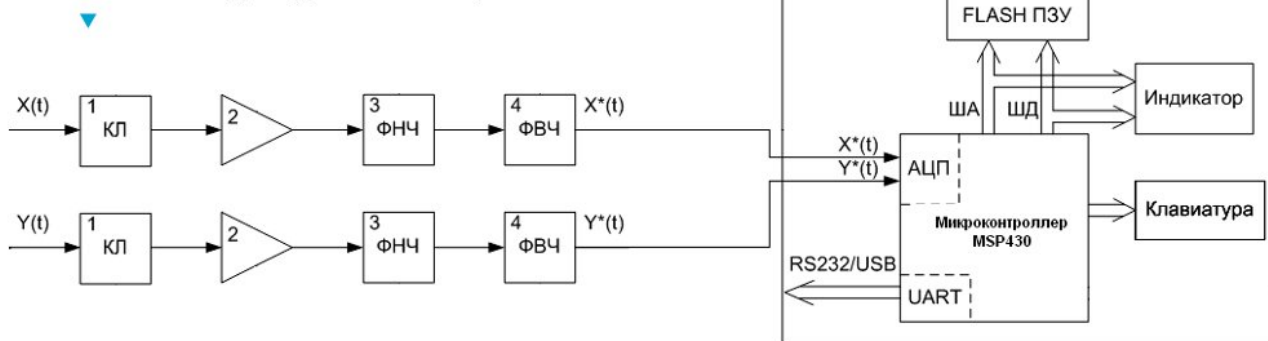


▲ Рис. 2 – Амплитудно-частотная характеристика аналоговой части приемника

На Рис. 2 дана частотная характеристика одного из каналов.

Алгоритм работы приемника заключается в выделении параметра поляризуемости

Рис. 1 – Структурная схема приемника



$$\eta = \frac{\sum_{i=1}^n [x_i(t) - \bar{k} \cdot y_i(t)]^2}{\frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i^2} \quad (1)$$

где: $x_i(t)$, $y_i(t)$ - собственно дискретные выборки сигналов поступающие с каналов дифференциальной приемной линии;

n – число выборок;

k - адаптивный коэффициент минимизирующий разность сигналов

$x_i(t)$, $y_i(t)$

Представляя входные сигналы дискретными выборками:

$$x(t) = \sum_{i=1}^n x_i \cdot \sin(\omega_i \cdot t + \varphi_{ix}) \quad (2)$$

$$y(t) = \sum_{i=1}^n y_i \cdot \sin(\omega_i \cdot t + \varphi_{iy}) \quad (3)$$

и ограничиваясь лишь двумя спектральными составляющими из рядов (2, 3) в предположении малого фазового сдвига в каналах $\varphi_x - \varphi_y \ll \varphi_x$, дисперсию разности в числителе (1) можно записать как:

$$\begin{aligned} \sigma_{x-y}^2 = & 4 \cdot [x(\varphi_{x1} - \varphi_{y1})^2 \cdot \cos^2(\omega_1 \cdot t + \frac{\varphi_{x1} + \varphi_{y1}}{2}) + \bar{k} \cdot y \cdot (\varphi_{x2} - \varphi_{y2})^2 \cdot \cos^2(\omega_2 \cdot t + \frac{\varphi_{x2} + \varphi_{y2}}{2}) + \\ & + 2 \cdot x \cdot \bar{k} \cdot y \cdot (\varphi_{x1} - \varphi_{y1}) \cdot (\varphi_{x2} - \varphi_{y2}) \cdot \cos(\omega_1 \cdot t + \frac{\varphi_{x1} + \varphi_{y1}}{2}) \cdot \cos(\omega_2 \cdot t + \frac{\varphi_{x2} + \varphi_{y2}}{2})] \end{aligned} \quad (4)$$

Увеличение числа членов ряда принципиально ничего не меняет и дисперсия наблюдаемой разности при обеспечении условия

$$[x(t) - \bar{k} y(t)]^2 \rightarrow \min$$

за счет автоматической подстройки коэффициента вариации $\bar{k}$ определяется суммой квадратов фаз разности фаз по всем спектральным составляющим входных сигналов $x(t)$ и $y(t)$.

Таким образом, измеряемый коэффициент поляризуемости η соответствует некоторой нелинейной функции группового запаздывания сигналов по времени между каналами x и y , то есть является индикатором инерционности границы раздела объекта поиска с окружающей ионопроводящей геологической средой.

Упрощенная блок схема программы микроконтроллера приводится на Рис. 3. Данная программа работает следующим образом. Сначала происходит включение прибора, после чего микроконтроллер переходит в режим ожидания замера. Кнопкой «Начало замера» запускается АЦП и происходит преобразование сигналов в цифровой вид с частотой 100 Гц. Далее, в режиме реального времени выборки сигналов записываются в ОЗУ, а затем осуществляется сравнение с предустановленным заранее временем замера.

Если время замера меньше предустановленного времени, то продолжается преобразование сигнала в цифровой вид и запись его в ОЗУ. Если время замера больше предустановленного времени, то все записанные сигналы попадают в цифровой фильтр, где осуществляется цифровая фильтрация сигнала. После чего вычисляется параметр η , который свидетельствует о вызванной поляризации рудного тела. Так же происходит оптимизация η по параметру k

Выводы

- Разработанный дифференциальный приемник электрических полей является универсальным устройством измерения либо группового фазового сдвига полигармонического сигнала, либо функции фазового сдвига между двумя гармоническими сигналами, поступающими от датчиков компонент электрического либо магнитных полей, в достаточно широкой полосе рабочих частот;

- Использование подобного приемника возможно в разных методах электроразведки (ВП, МТТ, АФМАГ и др.), а также в комбинации с сейсморазведкой.

Работа выполнена при финансовой поддержке проекта П218

Литература

[1] Г. Я Шайдуров, Ю. Н. Козлов, Я. В. Маркушин, Дифференциальный метод извлечения информации о потенциалах ВП из ЕЭМПЗ, Геофизическая аппаратура, Л. Недра 1991, с. 35-42.

[2] Потылицын В. С., Шайдуров Г. Я., Влияние нестационарности и неоднородности поля теллурического на результат измерения параметра поляризуемости при работе методом ВПЕЭМПЗ, Приборы и системы разведочной геофизики, Изд. ЕАГО, Саратов, 2012, № 3, с. 44-46.

[3] Потылицын В. С., Шайдуров Г. Я., Кудинов Д. С., Некоторые результаты полевых испытаний метода вызванной поляризации на основе выделения информации из естественного электромагнитного поля Земли, Приборы и системы разведочной геофизики, Изд. ЕАГО, Саратов, 2012, № 4, с. 51-53

[4] Моисеев Н.Н., Иванюков Ю.П., Столярова Е.М. Методы оптимизации М.: Наука, 1978. С.

[5] Н. А. Борисов, Г. Я. Шайдуров об использовании электромагнитных естественных полей для выделения потенциалов вызванной поляризации. Сб. трудов ВИТР, 1972, №81, с 50-55.

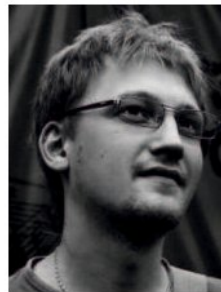
[6] А. Н. Борисов, Н. П. Воробьев, Г. Я Шайдуров. Корреляционное электроразведочное устройство, Авторское свидетельство 84682 от 14.04 1979.

Подробнее об авторах



Шайдуров
Георгий Яковлевич

Заслуженный деятель науки и техники РФ, доктор технических наук, профессор Сибирского Федерального Университета (СФУ)



Потылицын
Вадим Сергеевич

Аспирант каф. радио-электронные системы СФУ

Изучение структуры околоскважинного пространства в Припятской впадине комплексом модификаций метода ВСП

■ Шехтман Г.А., Кузнецов В.М., ГФУП ВНИИГеофизика, ООО «ГСД», Москва
Громыко В.М., РУП ПО «БЕЛОРУСНЕФТЬ», г.Гомель

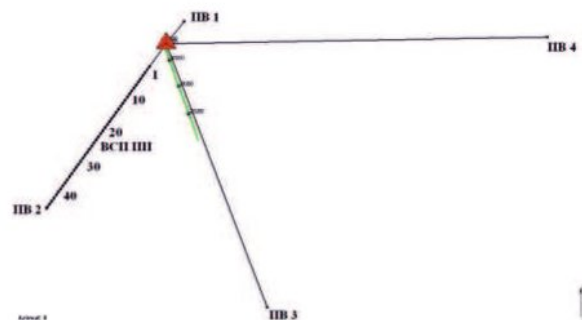
Впервые полученные в условиях Припятской впадины результаты комплексом модификаций метода ВСП, включающим продольное и непродольное вертикальное сейсмическое профилирование (НВСП), а также ВСП с подвижным источником колебаний (ВСП-ПИ), позволили уточнить местоположения тектонических нарушений в окрестности наклонной скважины, пробуренной на сложно построенном участке с наклонными сейсмическими границами.

Получен прирост информации по сравнению с данными наземной сейсморазведки. Показано, что записи и волновые глубинные разрезы ВСП-ПИ отличаются более высокой разрешенностью и регулярностью по сравнению с НВСП.

Перед работами ВСП на одном из участков Припятской впадины ставились методические и геологические задачи. Месторождения нефти и газа приурочены здесь к породам-коллекторам, расположенным в вершинах поднятий. В структурном плане кровля коллектора углеводородов представляет собой негоризонтальную по-верхность, осложненную тектоническими нарушениями. Основной метод поиска ловушек углеводородов – сейсморазведка.

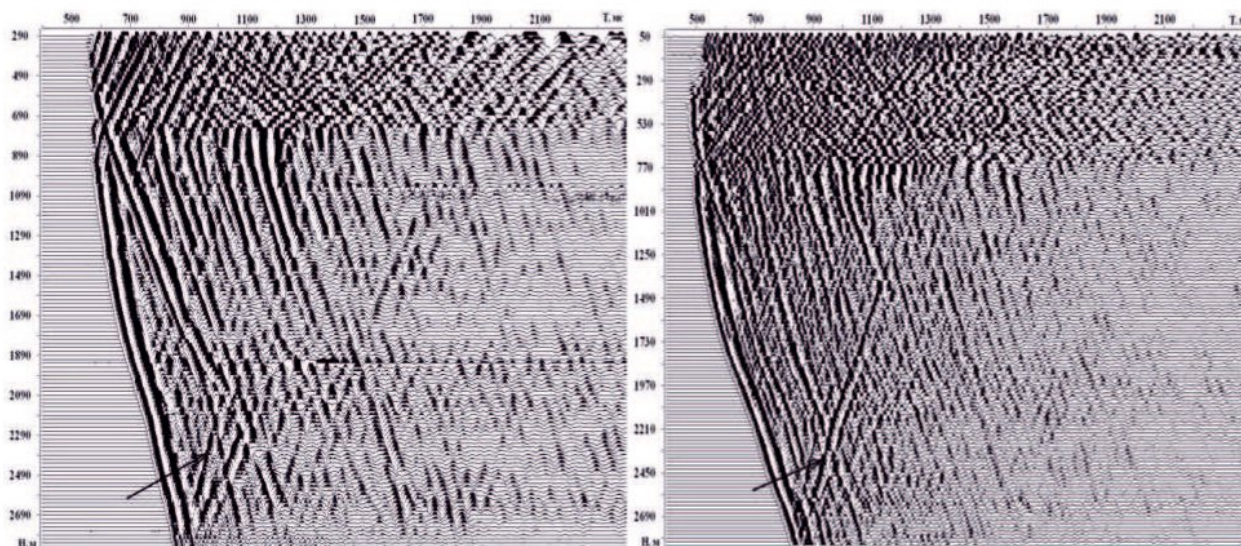
Основная геологическая задача перед работами ВСП состояла в выявлении и уточнении местоположения тектонических нарушений в окрестности исследуемых скважин. Одна из них отрабатывалась модификациями продольного и непродольного ВСП (НВСП), а также модификацией ВСП с подвижным источником колебаний (ВСП-ПИ). Модификацией ВСП-ПИ отработан один профиль, направление которого совпадает с направлением на один из пунктов возбуждения (ПВ2), из которого проводилось НВСП. Максимальное удаление источника от устья скважины при ВСП-ПИ совпада-

ло с удалением этого ПВ. Всего было отработано четыре ПВ и профиль ВСП-ПИ (рис. 1).



▲ Рис. 1. Схема расположения пунктов возбуждения при отработке скважины. Зеленым цветом показана проекция ствола скважины на земную поверхность.

В модификации ВСП-ПИ в процессе отработки скважины одновременно перемещают зонд вдоль скважины, а источник колебаний – вдоль земной поверхности в направлении от скважины. Основное преимущество ВСП-ПИ состоит в его возможности исключить ошибки в интерпретации, возникающие при НВСП из-за больших углов падения волны на отражающую границу (Шехтман и др., 2004).



▲ Рис. 2. Сопоставление сейсмограмм НВСП (слева) и ВСП-ПИ (справа), z-компонента. Стрелкой показано целевое отражение, более уверенно прослеживающееся при ВСП-ПИ.

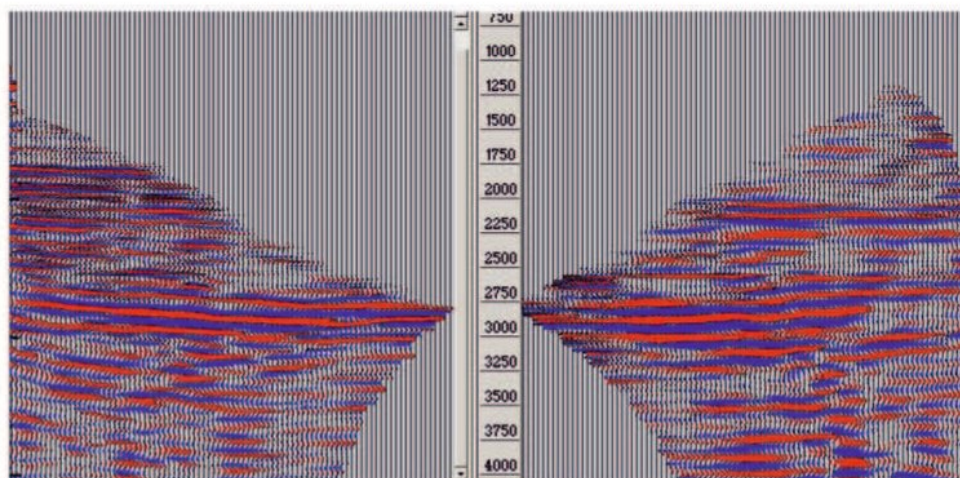
Исходные записи НВСП и ВСП-ПИ различаются существенно (рис. 2). Отражение от кровли ланского продуктивного горизонта (на рисунке указано стрелкой) на сейсмограмме ВСП-ПИ характеризуется большей разрешенностью и регулярностью. Объясняется это, скорее всего, меньшим диапазоном изменений угла падения волны на отражающую границу. При этом сами углы падения меньше, поэтому амплитуды отражений не изменяются столь резко, как при НВСП. Гораздо большие углы падения волны при НВСП объясняют формирование интенсивных обменных отраженных волн на z-компо-

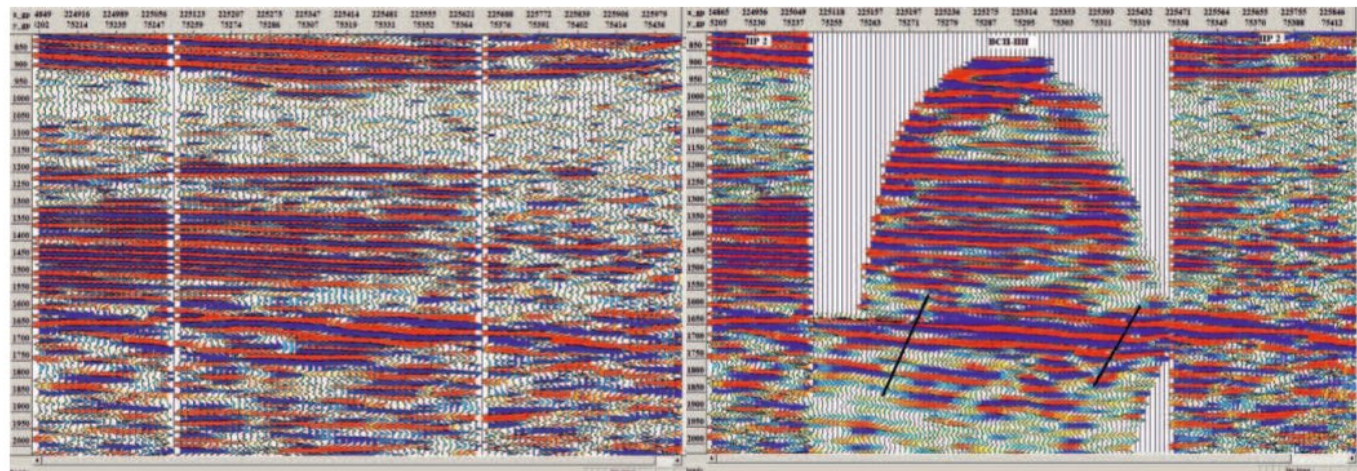
ненте, затрудняющих разделение волн. Более высокая разрешенность записей ВСП-ПИ обусловлена также и тем, что взрывы всякий раз при подъеме зонда возбуждались из новой скважины.

Глубинные разрезы, полученные путем миграции отраженных продольных волн (рис. 3), также различаются между собой. На разрезах ВСП-ПИ целевые границы более разрешены, выдержаны и допускают более уверенное выделение особенностей геологического разреза.

Сопоставление глубинного разреза, полученного по данным наземной сейсморазведки 3D, с глубинным

► Рис. 3. Сопоставление глубинных разрезов на продольных отраженных волнах, полученных путем миграции записей ВСП-ПИ (слева) и НВСП (справа).





▲ Рис. 4. Разрез по данным наземной сейсморазведки 3D (слева) и результат его стыковки с разрезом ВСП-ПИ (справа). Просветами на разрезе слева выделен интервал для врезки данных ВСП-ПИ..

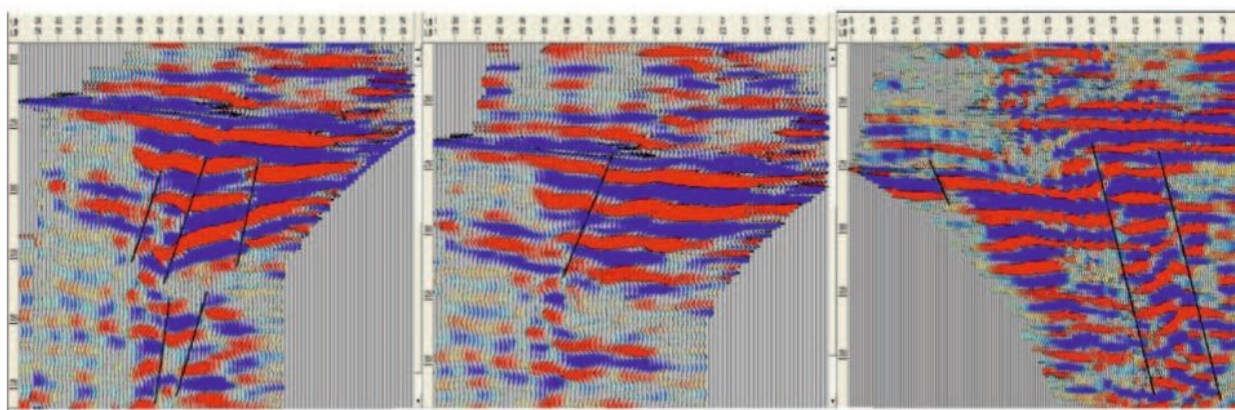
разрезом ВСП-ПИ (рис. 4) свидетельствует о том, что ВСП-ПИ подтвердило достоверность результатов наземной сейсморазведки и обеспечило улучшение прослеживания целевых горизонтов.

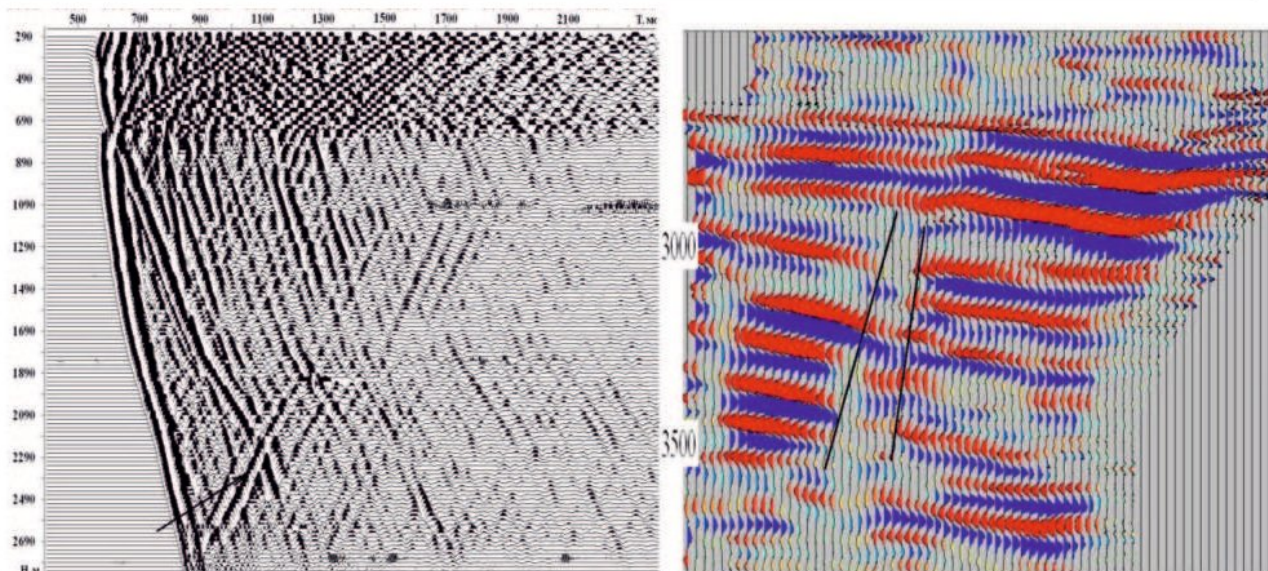
При изучении околоскважинного пространства дополнительные трудности, обусловленные сложным глубинным рельефом сейсмических границ, связаны с тем, что исследуемая скважина была сильно искривленной. В результате этого, направления линий бинирования при миграции записей ВСП, полученных различ-

ными модификациями метода ВСП, существенно отличались от направлений от устья скважины на ПВ, а также от направления профиля ВСП-ПИ. Расчеты координат точек отражения с учетом наклонов границ и искривления скважины использовали при проведении миграции записей ВСП и при интерпретации полученных при этом глубинных разрезов НВСП и ВСП-ПИ.

Существенно отметить, что глубинные разрезы НВСП на продольных отраженных волнах, хотя и уступали по качеству глубинному разрезу ВСП-ПИ, позволили вполне уверенно

▼ Рис. 5. Глубинные разрезы НВСП на продольных отраженных волнах, полученные путем миграции записей с ПВ1 (слева), ПВ2 (в центре) и ПВ4 (справа). Линиями показаны предполагаемые тектонические нарушения.





▲ Рис. 6. Сейсмограмма ВСП (слева) с ПВ2 (х-компонента) и глубинный разрез (справа) на обменных отраженных волнах типа PS.

уточнить положения тектонических нарушений (рис. 5). На обменных отраженных волнах типа PS качество глубинных разрезов НВСП оказалось сопоставимым с качеством на продольных отраженных волнах (рис. 6).

Выводы

1. В пределах сложно построенного участка Припятской впадины уточнена структура околоскважинного пространства. Получена новая информация, подтверждающая блоковое строение подсолевых отложений в окрестности исследованной скважины.

2. Применение модификации ВСП с подвижным источником колебаний (ВСП-ПИ) позволило более надежно, по сравнению с НВСП, разделить волновое поле по типам волн, а также более надежно осветить отраженными волнами участки околоскважинного пространства, расположенные под забоем скважины.

Литература

Шехтман Г.А., Кузнецов В.М., Попов В.В., Модификации метода ВСП: какую предпочесть?: Технологии сейсморазведки, 2004, 1, 75-79.

Подробнее об авторах



Громыко
Валентин Михайлович

Начальник отдела сейсмической интерпретации производственного объединения «Белоруснефть»



Кузнецов
Василий Маркович

Зав. лабораторией многоволновой сейсморазведки ВНИИГеофизики, зам. директора ООО «Геофизические системы данных», кандидат технических наук



Шехтман
Григорий Аронович

Главный научный сотрудник лаборатории многоволновой сейсморазведки «ВНИИГеофизики», доктор технических наук

Устранение фазовых искажений, вызванных регистрирующей аппаратурой, на этапе обработки данных сейсморазведки

■ Брыксин И.В., Цвей Е.В., ОАО "Хантымансийскгеофизика", г. Хантымансийск

Одной из частых проблем обработки и последующей интерпретации материалов сейсморазведки является увязка волновых полей (сейсмограмм, разрезов). Особенно остро проблема согласования данных стоит при обработке обширных площадей, отработанных в разные годы с применением различных методик и полевой регистрирующей аппаратуры. В докладе рассматривается пример решения задачи согласования сейсмических материалов, полученных с применением различной аппаратуры, на основе учёта документированных спектральных характеристик задействованного полевого оборудования.

Согласно общим положениям из теории регистрации сейсмических данных, конволюционная (свёрточная) модель сейсмической трассы описывается следующим выражением:

$$A(t) = A_0(t) * S(t) * \dots * G(t) + N(t), \quad (1)$$

где $A_0(t)$ – исходный сигнал, посылаемый сейсмическим источником;

$S(t)$ – импульсный отклик среды;

$G(t)$ – импульсный отклик регистрирующего тракта;

$N(t)$ – шум.

Стандартный граф обработки материалов сейсморазведки не предусматривает специальный учёт аппаратного фактора ($G(t)$), который

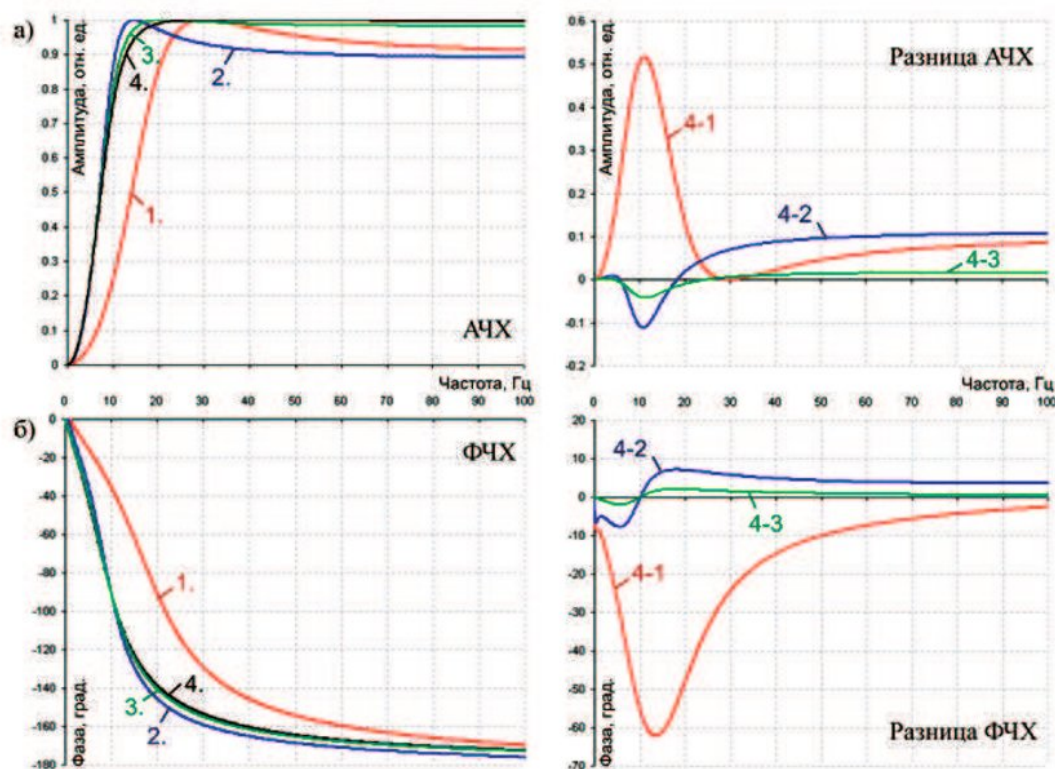


Рис. 1. Амплитудно-частотные (а) и фазо-частотные характеристики (б) некоторых моделей сейсмоприёмников: 1.) СВ-20П; 2.) СВ-10Ц; 3.) SM-24; 4.) GS-20DX ▲

вносит свои искажения в регистрируемые данные.

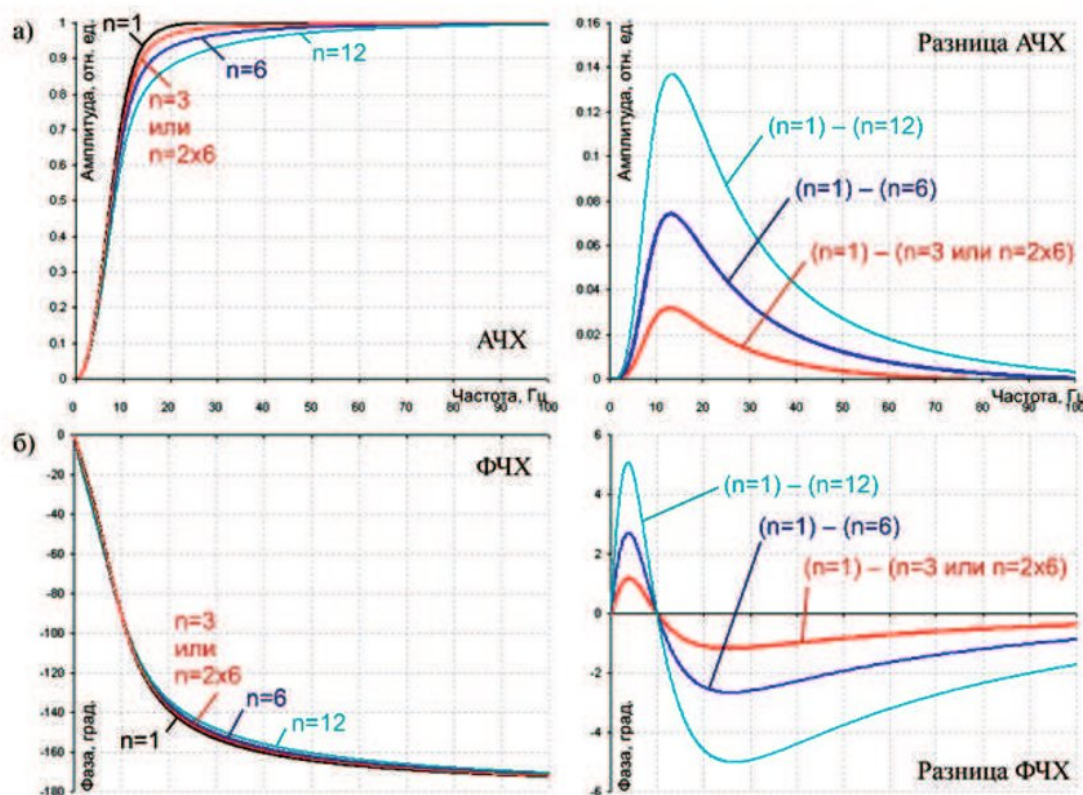
Импульсный отклик регистрирующего тракта ($G(t)$), в общем случае, состоит из импульсных откликов группы сейсμοприёмников ($g(t)$) в комплексе с линиями связи и входными цепями сейсмостанции ($s(t)$), а также из реакции фильтров сейсмостанции на единичный импульс ($f(t)$).

$$G(t) = g(t) * s(t) * f(t). \quad (2)$$

Обычно в учебной и технической геофизической литературе при рассмотрении вопросов, касающихся спектральных характеристик аппаратуры, основной упор сделан на демонстрацию передаточных характеристик в области амплитуда-частота, тогда как в фазо-частотной области содержится не менее ценная информация.

В ОАО “Хантымансийскгеофизика” была выработана методика вычисления корректирующих частотно-зависимых поправок и порядок их применения с целью избавления сейсмических материалов от влияния типа регистрирующей аппаратуры.

На рис. 1 представлены графики амплитудно-частотных (АЧХ) и фазо-частотных характеристик (ФЧХ) некоторых моделей сейсμοприёмников с индукционными электромеханическими преобразователями. На данном рисунке и всех последующих графиках фазо-частотных характеристик аппаратуры отрицательный знак фазы несёт в себе физический смысл запаздывания выходного сигнала по отношению к моменту механического воздействия на датчик. Даже в таком простом случае сопоставления можно увидеть значительную разницу АЧХ и, что более важно, ФЧХ. Другими слова-



▲ Рис. 2. Амплитудно-частотные (а) и фазо-частотные характеристики (б) сейсμοприёмника GS-20DX при различных вариантах группирования

ми, сейсмограммы, зарегистрированные с применением разнотипных датчиков, будут иметь частотно-зависимые различия, что при обработке материалов выразится в их амплитудной и фазовой несогласованности.

Кроме типа использованных сейсмических датчиков на вид регистрируемых данных также оказывает влияние и их группирование. На рис. 2 приведён пример сопоставления спектральных характеристик датчиков GS-20DX при различных вариантах группирования сейсμοприёмников.

Следствием различных технических решений, применённых в конструкции полевых сейсморазведочных комплексов, является неидентичность их передаточных характеристик. Аналоговые фильтры (фильтры высоких частот, режекторные, спектрально-формирующие, фильтры низких частот, анти-алайсинг фильтры), применяемые к входным сейсмическим данным до преобразователя аналог-код, в разных сейсмостанциях имеют далеко не идентичные спектральные характеристики. Подробные описания характеристик фильтров, применяемых в сейсморазведочных станциях, содержатся в их сопроводительной технической документации.

На рис. 3 приведено сопоставление документированных спектральных характеристик анти-алайсинг фильтров некоторых моделей сейсмостанций. Стоит отметить, что при смене шага квантования записи передаточные характеристики анти-алайсинг фильтров будут иными.

Кроме того, для материалов, полученных с применением не телеметрических станций, важным звеном

Рис. 3. Амплитудно-частотные (а) и фазо-частотные характеристики (б) анти-алайсинг фильтра некоторых моделей сейсмостанций (для шага квантования записи 2 мсек):

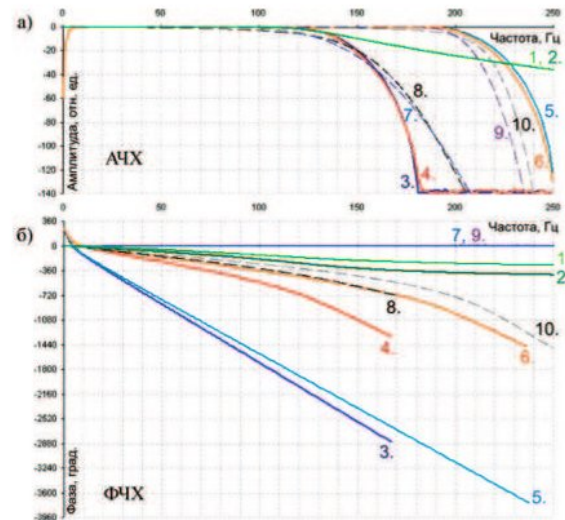
1.) ССЦ-3; 2.) "Прогресс-2"; Input/Output System Two;

3.) 1/2 Lin Ph; 4.) 1/2 Min Ph;

5.) 3/4 Lin Ph; 6.) 3/4 Min Ph; Sercel SN388;

7.) 0.5 Lin Ph; 8.) 0.5 Min Ph;

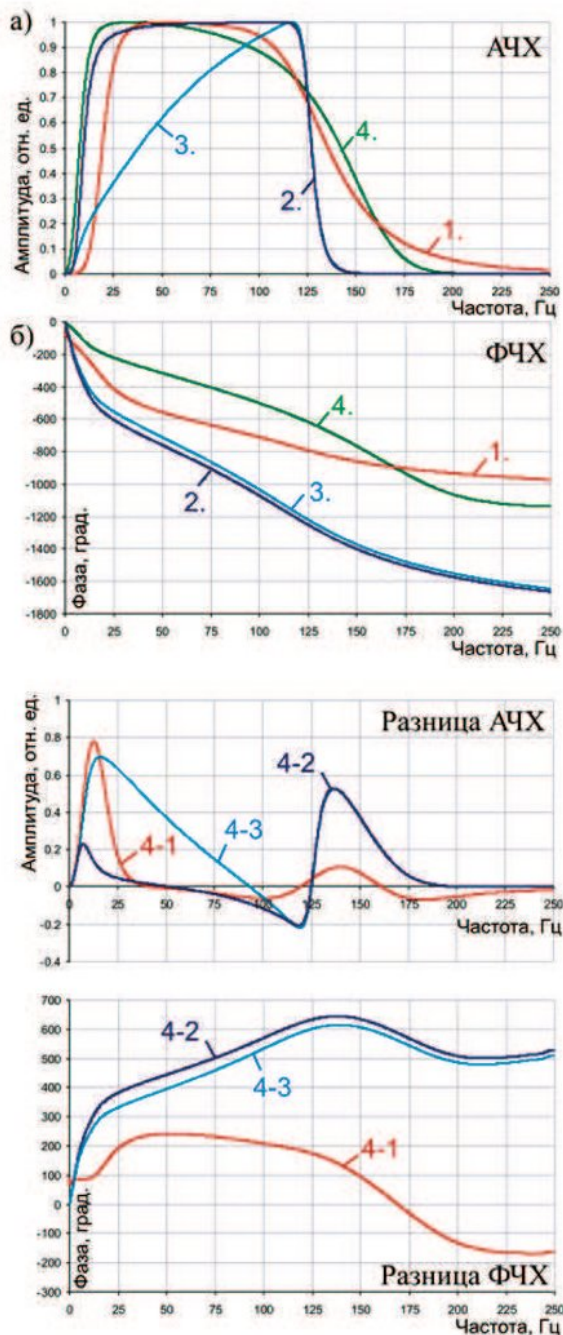
9.) 0.8 Lin Ph; 10.) 0.8 Min Ph ▼



приёмного тракта являются линии связи (сейсмические "косы") и входные цепи сейсмостанции ($s(t)$). При этом на передаточные характеристики указанного участка приёмного тракта влияет много факторов: длина линий связи, марка провода, примененного в сейсмической "косе", конструктивные особенности и характеристики входных цепей сейсмостанции.

На рис. 4 приведены интегральные характеристики нескольких комбинаций регистрирующей аппаратуры, применявшейся при отработке одной площади в разные полевые сезоны. Из сопоставления суммарных характеристик регистрирующих трактов полевой аппаратуры различных видов несложно увидеть их значительную разницу. При таком поведении АЧХ и,

Рис. 4. Интегральные амплитудно-частотные (а) и фазо-частотные характеристики (б) регистрирующих трактов сейсмостанций:
 1.) "Прогресс-2", группа 2х12 из датчиков СВ-20П, ФВЧ 20Гц, ФНЧ 125 Гц;
 2.) Input/Output System Two, группа 2х6 из датчиков GS-20DX, ФВЧ 8.7Гц, 1/2 Min Ph;
 3.) Input/Output System Two, группа 2х6 из датчиков GS-20DX, ФВЧ 8.7Гц, 1/2 Min Ph, спектрально-формирующий фильтр (SSF);
 4.) Sercel SN388, группа 2х6 из датчиков GS-20DX, 0.5 Min Ph. ▼



особенно, ФЧХ становится очевидной проблема рассогласования материалов, полученных с применением различной аппаратуры и различными настройками регистрации.

Решение проблемы согласования материалов разных лет видится в необходимости проведения спектральной коррекции полевых сейсмограмм на начальном этапе обработки сейсморазведочных данных, которая будет учитывать искажения, вызванные применяемым комплексом регистрирующей аппаратуры.

На этапе расчёта корректирующих поправок возникает дилемма: учитывать искажения, приводя характеристики типов аппаратуры к какому-либо одному типу (исходя, например, из преобладающего количества материалов), или же трансформировать все данные, снимая влияние типа регистрирующей аппаратуры путём полной компенсации найденных характеристик.

На начальном этапе опробования методики был выбран первый, менее экстремальный путь, заключающийся в спектральной коррекции меньшего числа сейсмических данных к преобладающему типу аппаратуры.

В правой части рис. 4 приведены разностные спектральные характеристики, вычисленные относительно сейсмостанции Sercel SN388, которые компенсируют различия между полевой аппаратурой, приводя их к единому виду.

На примере контрольных временных разрезов (рис. 5 и 6) показаны результаты фазо-частотной коррек-

ции материалов “Прогресс-2” и Input/Out-put System Two, проведённой по исходным полевым сейсмограммам, с целью их приведения к единому виду Sercel SN388. После учёта спек-тральных различий аппаратуры по суммарным разрезам отмечается улучшение согласованности динамики отражённых волн.

После получения положительных результатов согласования материалов, на основе приведения сейсмограмм к единому (преобладающему) виду регистрирующей аппаратуры, был опробован более радикальный путь решения проблемы – спектральная коррекция всех исходных материалов, с целью полного избавления от аппаратного фактора. Другими словами, приведение спектральных характеристик каждого типа регистрирующего тракта к идеальному (нуль-фазовому) виду.

С теоретической точки зрения, последний вариант решения проблемы согласования более предпочтителен, поскольку при правильном полном учёте аппаратного фактора импульсный отклик регистрирующего тракта ($G(t)$) вырождается в единичный импульс (скорость колебаний грунта под геофоном идентична отсчётам трассы). В конволюционной модели сейсмической трассы (формула 1) произойдёт сокращение аппаратного фактора ($G(t)$). Кроме того, после применения деконволюции, которая на основе расчета оптимального обратного фильтра решает задачу повышения разрешенности и приведения сейсмической записи к

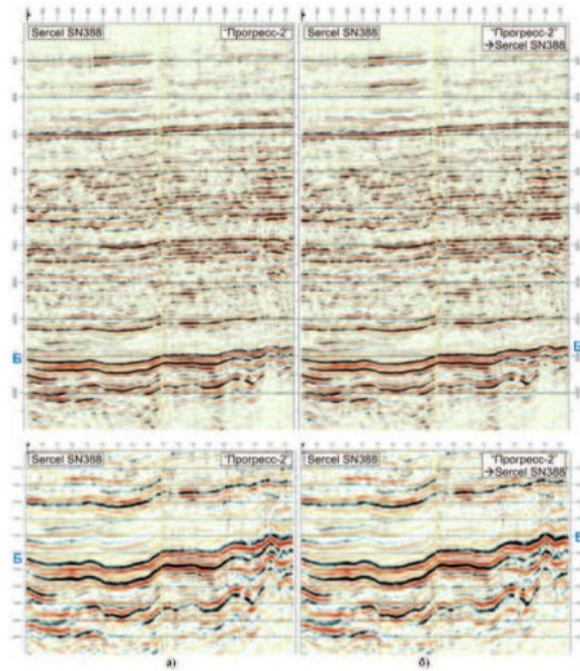


Рис. 5. Сопоставление фрагментов композитного временного разреза, обработанного без специального учёта фазо-частотных различий (а), вызванных аппаратным фактором, и с проведением коррекции ФЧХ (б) ▲

нуль-фазовому виду (коррекция за тип сейсмического источника), должна наблюдаться лучшая сходимость материалов сейсморазведки и данных одномерного сейсмического моделирования на основе данных ГИС.

На рис. 7 приведены фрагменты окончательных временных разрезов, обработанных без коррекции (а) и с учётом аппаратного фактора (б), в сопоставлении с данными одномерного сейсмического моделирования по АК. С компенсацией документированных аппаратных характеристик сходство материалов улучшается, а кроме того, вид отражающих горизонтов приобретает классический вид: опорный горизонт Б (кровля баженовской свиты) – ярко выраженная отри-

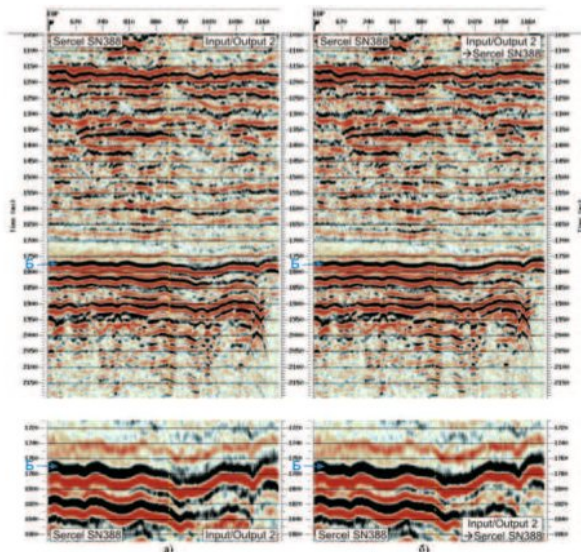


Рис. 6. Сопоставление фрагментов композитного временного разреза, обработанного без специального учёта фазо-частотных различий (а), вызванных аппаратным фактором, и с проведением коррекции ФЧХ (б) ▲

цательная фаза, горизонт ТЮ2 (кровля тюменской свиты) – широкое двухфазное положительное отражение.

Из анализа спектральных характеристик аппаратуры (рис. 1-4) и результатов коррекции (рис. 5-7) следует интересное, с практической точки зрения, заключение: часто применяемый приём согласования окончатель-

ных временных разрезов, общий поворот фазы, является частным случаем коррекции за тип применяемой сейсморегистрирующей аппаратуры. Имея ввиду частотно-зависимый характер изменения аппаратных фазовых задержек, становится очевидным, что простой поворот фазы учитывает различия лишь частично, так как при этом происходит компенсация среднего уровня аппаратной фазовой задержки по доминирующим (видимым) частотам сейсмического разреза.

Фазо-частотная коррекция на основе документированных технических характеристик, проводимая с целью согласования полевых сейсмических материалов, зарегистрированных с применением различной полевой аппаратуры, имеет положительный эффект: однозначно решается вопрос о полярности материалов разных лет, отпадает необходимость во вращениях фазы при стыковке окончательных сейсмических разрезов, так как динамика отражённых

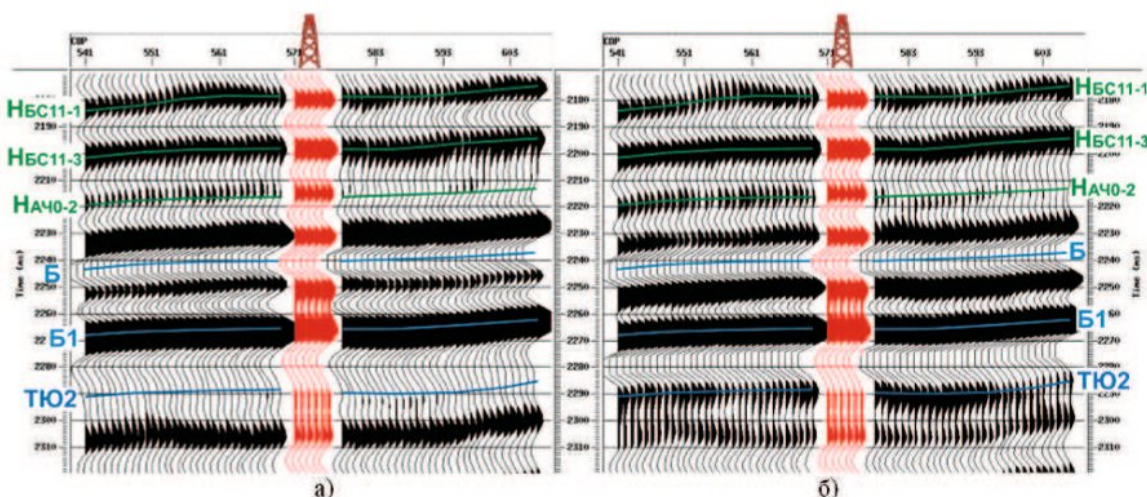


Рис. 7. Фрагменты окончательных временных разрезов без проведения учёта фазо-частотных характеристик применявшегося оборудования (а) и после полной компенсации аппаратного фактора (б) в сопоставлении с данными одномерного сейсмического моделирования ▲

волн становится согласованной. Дополнение стандартных алгоритмов деконволюции (ко-торые не решают задачу приведения сейсмических материалов к единому нуль-фазовому виду) предварительно применяемой фазо-частотной коррекцией позволяет получать согласованные результаты обработки, не зависящие от типа применявшейся полевой регистрирующей аппаратуры.

ющей аппаратуры.

Литература

1. Боганик Г.Н., Гурвич И.И. Сейсморазведка: Учебник для вузов. Тверь, Издательство АИС, 2006, с. 216-222.
2. Бонч-Бруевич А.М. Радиоэлектроника в экспериментальной физике. М., Наука, 1966, 768 с. с илл.
3. Справочник геофизика. Том 4. Сейсморазведка. Гурвич И.И., Номоконов В.П. (ред.).



Брыксин
Илья Валерьевич

Руководитель группы инновационных технологий партии геолого-геофизического обеспечения ОАО "Хантымансийск-геофизика", ГЕОТЕК.



Цвей
Евгений Викторович

Начальник партии геолого-геофизического обеспечения ОАО "Хантымансийск-геофизика", ГЕОТЕК.

Книжная полка

Вышел в свет учебник для вузов «СЕЙСМОРАЗВЕДКА» в двух томах. Изд-во УГГУ: 2011 г. Авторы учебника: Бондарев Владимир Иванович, д.г.-м.н., профессор, зав. кафедрой геофизики нефти и газа Уральского государственного горного университета и Крылатков Сергей Михайлович, доцент той же кафедры, к.г.- м. н.



Учебник имеет гриф "Рекомендовано" УМО Министерства образования и науки Российской Федерации по образованию в области прикладной геологии. Предназначен для студентов высших учебных заведений, обучающихся по специальности 130201 - "Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых" (решение № 26-14-УМО/23 от 26.09.2010 г.)

Том 1 содержит 2 части:

ЧАСТЬ 1. ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКИЕ И ГЕОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

ЧАСТЬ 2. МЕТОДЫ, АППАРАТУРА И ТЕХНОЛОГИЯ СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

Том 2 включает в себя одну часть:

ЧАСТЬ 3. ОБРАБОТКА И ИНТЕРПРЕТАЦИЯ РЕЗУЛЬТАТОВ СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Каждый том содержит более 350 иллюстраций, в том числе на 120 цветных страницах.

В первом томе в приложении содержится информация о выпускающих геофизических кафедрах вузов России. В приложениях ко второму тому приведены: анализ современного рынка геофизических услуг в России, информация о крупнейших сервисных геофизических компаниях России и информация об отечественных производителях сейсморазведочной аппаратуры и оборудования.

Учебник может быть полезным студентам и преподавателям вузов и колледжей, специалистам геолого-геофизического профиля, занимающимся вопросами нефтегазовой геологии и геофизики. Стоимость каждого тома учебника - \$50 + почтовые расходы.

По вопросам приобретения учебника можно обращаться по адресу: 620144, г. Екатеринбург, ул. Куйбышева, 30. Уральский государственный горный университет, кафедра геофизики нефти и газа. Тел +7(343) 2576558. E-mail: bondarev_v@mail.ru,

Внедрение системы учета оборудования на предприятии по ремонту геофизического оборудования

■ Спиридонов В.А., Абраров Р. С., Андреев М. И.,
Кашфиева З. А., ООО «Элегра»

Основная задача организации ООО «Элегра» — техническая поддержка геофизических работ: обслуживание, ремонт и настройка геофизического оборудования наземной и скважинной сейсморазведки. По окончании полевых работ осуществляется доставка большей части геофизического оборудования на техобслуживание, для проведения регламентных работ и текущего ремонта.

С каждым годом количество эксплуатируемого оборудования растет. В связи с этим возникла проблема качественного распределения ресурсов.

В 2010 году была поставлена задача внедрить на базе нашей организации автоматизированную систему учета геофизического оборудования. Было принято решение о разработке информационной системы учета оборудования на платформе 1С:Предприятие 8.2

Главной целью внедрения новой системы являлось создание единой базы данных, содержащей информацию о каждом виде оборудования, проходившем учет в нашей организации, ее местонахождении и состоянии.

Обязательное условие — оперативность получения данных, возможность удалённого использования, включая полевые сейсмопартии.

Функциональные требования к системе учета :

1. Управление логистикой оборудования:

Ведение реестра и учета оборудования по месту нахождения, подразделению, ответственному лицу, количеству, комплектности;

- Ведение учета как по каждой единице оборудования (по серийным номерам), так и количественного учета;
- Проведение инвентаризации с возможностью регистрации отклонений и проведение операции по корректировке;
- Регистрация выполнения операции:
 - ▶ Поступление
 - ▶ Ввод в эксплуатацию
 - ▶ Перемещение
 - ▶ Обслуживание
 - ▶ Передача в ремонт
 - ▶ Возврат с ремонта
 - ▶ Модернизация
 - ▶ Списание
 - ▶ Комплектация
 - ▶ Разукомплектация
 - ▶ Принятие в аренду
 - ▶ Передача в аренду
 - ▶ Передача в сервисный центр
- Учет оборудования по состоянию:
 - ▶ В эксплуатации
 - ▶ В ремонте
- Анализ выбытия оборудования (причины : брак, потеря, поломка и т.д);
- История движения оборудования.

2. Ведение паспорта оборудования:

- Хранение любых необходимых параметров оборудования;
- Хранение и визуализация технической документации, хранимой в графическом формате (фотографии, сканированные копии, видео и т.д.);
- Учет комплектности;
- Хранение информации по соответствию комплектующих.

3. Управление ремонтом:

- Отслеживание стадии ремонта (диагностика, отложен, передан внешнему сервисному центру);
- Регистрация ремонта (выполненные работы, причина поломок, использованные запчасти, исполнители);
- Ведение истории ремонта. (история ремонта по каждой единице оборудования).

4. Сервисные возможности:

- Формирование необходимых печатных форм документов и отчетов;
- Автоматизация процесса комплектации;
- Поддержка технологии штрих кодирования и работы со специализированным оборудованием : сканеры штрих кодов, терминалы сбора данных , печать этикеток с штрих кодом на специализированных принтерах;
- Индивидуальные интерфейсы и разграничение прав доступа для различных категории пользователей;
- Поддержка спец. интерфейсов для удаленных пользователей.

На сегодняшний день программа реализована и принята на вооружение в ОАО «Башнефтегеофизика». Ведутся работы по частичной стыков-

ке информационной базы с бухгалтерским учётом. Единственным недостатком данной системы является то, что при учете групп геофонов, как самого массового вида оборудования, ведется только количественный учет, что не дает возможности проследить все перемещения единицы данного типа оборудования.

При попытке решения этой проблемы рассматривалась система учета с технологией внедрения радиочастотных идентификаторов меток RFID. Это достаточно новая технология. Она дает возможность максимально уменьшить ошибки, связанные с человеческим фактором. При внедрении данной технологии количество и состав оборудования при приемке считается автоматически.

Преимущества данной технологии заключаются в следующем:

- Данные идентификационной метки могут дополняться. Информация, хранимая радиочастотной меткой, может быть изменена, дополнена или даже заменена на другую, при наличии соответствующих условий;
- Возможность считывать одновременно несколько меток. Механизм антиколлизий позволяет определять точное количество меток, которые в текущий момент времени находятся в поле действия антенны;
- Расположение метки не имеет особого значения для считывателя. Единственное, что требуется для считывания информации с радиочастотной метки, это ее нахождение в зоне действия сканера RFID;
- Метка лучше защищена от воздействия окружающей среды. Радиочас-

тотные метки не требуется размещать на внешней стороне упаковки (объекта). Поэтому они оказываются лучше защищенными в условиях хранения, обработки и транспортировки логистических единиц. В отличие от штрихового кода на них не воздействуют пыль и грязь.

Однако и в данной системе есть свои недостатки:

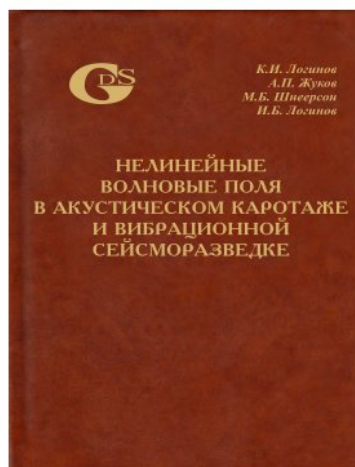
- в первую очередь, это ее дороговизна. В России производят не все разновидности RFID меток. Все находится только на стадии развития. В основном все заказывается за грани-

цей;

при маркировании кабельной продукции необходимо учитывать, в какую часть кабельной продукции установить метку, чтобы не было накладок в системе при разрыве кабелей.

В силу того, что количество эксплуатируемого оборудования с каждым годом растет, растет и потребность в ведении актуальной базы данных. Внедрение и модернизация системы учета оборудования является оптимальным решением качественного распределения ресурсов.

Книжная полка



**К. И. Логинов,
А. П. Жуков,
М. Б. Шнеерсон,
И. В. Логинов**

**Нелинейные волновые
поля в акустическом
каротаже и вибрацион
ной сейсморазведке.**

Издание подготовлено в соответствии с программой научно-исследовательских работ ООО «Геофизические системы данных»

Книга посвящена теоретическому и экспериментальному рассмотрению нелинейных компонент акустических и сейсмических волновых полей, возникающих при их возбуждении импульсными (каротаж) и вибрационными (сейсморазведка) источниками колебаний и распространении в пористых трещиноватых и флюидосодержащих средах.

Книга состоит из трёх разделов.

В первом – изложены физические основы наблюдаемых нелинейных явлений, которые обусловлены нелинейностью уравнений теории упругости, приближенностью закона Гука и особенностями взаимодействия рабочей плиты виброисточника с грунтом.

Во втором – на основании анализа материалов акустического каротажа скважин и физического моделирования показано, что увеличение проницаемости пород приводит к появлению нелинейных составляющих в наблюдаемых волновых полях.

В третьей – рассмотрены нелинейные волновые поля в вибрационной сейсморазведке и приведены результаты полевых работ по прогнозу наличия/отсутствия углеводородов по появлению волн с кратными и комбинационными частотами и по возбуждению и регистрации волн с кратными частотами (волны гармоники).

Книга предназначена инженерам-геофизикам, молодым специалистам аспирантам и студентам университетов и институтов геофизических специальностей.

Такие геофизики – наша гордость!



Указом Президента Российской Федерации № 60 от 2 февраля 2013 года за заслуги в области нефтяной и газовой промышленности и многолетний добросовестный труд генеральному директору ЗАО «ГЕОСВИП»

АЛЕЛЮХИНУ НИКОЛАЮ ПЕТРОВИЧУ

присвоено почетное звание

**«ЗАСЛУЖЕННЫЙ РАБОТНИК НЕФТЯНОЙ И ГАЗОВОЙ
ПРОМЫШЛЕННОСТИ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ»**

В настоящее время ЗАО «ГЕОСВИП» является единственным предприятием в стране, выпускающим вибросейсмические источники.

Редакция журнала «Приборы и системы разведочной геофизики» неоднократно знакомила читателей как с самим предприятием, так и с выпускаемой им продукцией. Недавний Указ Президента РФ о присвоении генеральному директору ЗАО «ГЕОСВИП» почетного звания «Заслуженный работник нефтяной и газовой промышленности Российской Федерации» побудил редакцию взять интервью у Николая Петровича Алелюхина. Ибо по нашему глубокому убеждению, личность руководителя предприятия, неизбежно, как в зеркале отражается в деятельности возглавляемого им предприятия - в успехах и возможных неудачах, в настоящем и направлениях развития.

Ниже приводится запись интервью Н.П.Алелюхина главному редактору журнала «Приборы и системы разведочной геофизики» П.А.Турлову.

Т. Николай Петрович, прежде всего, позвольте поздравить Вас с присвоением Вам почетного звания «Заслуженный работник нефтяной и газовой промышленности Российской Федерации». Честно говоря, я, как, наверное, многие читатели нашего журнала, думал, что это почетное звание Вы носите уже давно. И я, признаться, был несколько удивлен, услышав эту новость.

А. Спасибо за поздравление. Что же касается Вашего удивления, то это тот самый случай, когда можно сказать: «Лучше поздно, чем никогда».

Т. Что верно, то верно. Готовясь взять у Вас интервью, я, естественно, проштудировал Вашу биографию. Надо сказать, Ваш послужной список впечатляет. Сейчас Вы возглавляете одно из наиболее успешных россий-

ских предприятий в области геофизического приборостроения – ЗАО «ГЕОСВИП». Расскажите, что из себя представляет Ваше предприятие в настоящее время.

А. После распада СССР, по инициативе бывшего зам.министра Минтопэнерго Гарипова В.З. в России была создана компания ЗАО «Геосвип», в которую были приглашены лучшие специалисты в области геофизического машиностроения и приборостроения. На ЗАО «Геосвип» была возложена задача разработки (НИОКР) и изготовления невзрывных источников сейсмических сигналов (виброисточников), которые используются в геологоразведочных работах на углеводородное сырье и другие полезные ископаемые в различных регионах России, в том числе в Западной и Восточной Сибири.

В структуру ЗАО «Геосвип» входят: КБ (пос. Поваровка Солнечногорский район, Московская область), завод (г. Кимры, Тверская область), служба испытаний и технического сервиса, учебный центр.

Многолетний опыт создания техники для полевой геофизики позволяет нам создавать современные виброисточники с использованием оптимальных конструкторских и технологических решений, а также лучших отечественных и зарубежных достижений в области механики, гидравлики и электроники. При этом учитываются опыт и пожелания сейсморазведчиков и требования отечественных и зарубежных стандартов.

Выпускаемые ЗАО «Геосвип» виброисточники удовлетворяют самым высоким требованиям к качеству и информативности материалов, получаемых в ходе выполнения сейсморазведочных работ.

Разумное сочетание зарубежных и отечественных комплектующих позволяет повысить надежность эксплуатации и снизить стоимость обслуживания источников при оптимальном соотношении цена – качество. Все виброисточники сертифицированы Госстандартом РФ. Технические параметры вибраторов и системы управления позволяют использовать практически все современные методы сейсморазведки.

С 1997 года по настоящее время ЗАО «Геосвип» выпустило 196 единиц виброисточников разного типа.

В настоящее время ЗАО «Геосвип» предлагает следующие модели виброисточников:

- СВ-5/300В на гусеничном японском шасси MST-800VD, 5 т.с;
- СВ-14/150 на шасси УРАЛ-4320-41 (6х6), 14 т.с;
- СВ-20/150МТК на шасси КрАЗ-6322 (6х6), 20 т.с;
- СВ-27/150К на шасси КамАЗ-63501 (8х8), 27 т.с;
- СВ-30/150Б «Русич» на самоходном гидрофицированном шасси (4х4), 30 т.с;
- СВС-24/РС27 на гусеничном снегоболотоходном шасси, 27 т.с.

Наша продукция успешно эксплуатируется на протяжении многих лет в большинстве геофизических предприятий России, причем некоторые из них полностью укомплектованы только нашими виброисточниками. Основными пользователями нашей продукции в России являются: ГФУП ВНИИГеофизика, ФГУНПГФ «Иркутскгеофизика», ОАО «Астраханская геофизическая экспедиция», ОАО «Сибнефтегеофизика», ЗАО «ГЕОТЕК Холдинг», ОАО «Ритэк», ОАО «Газпром» (ООО «Георесурс»), ОАО «Пермьнефтегеофизика», ОАО «Удмуртгеофизика» и ряд других геофизических компаний.

В последние годы наша компания осуществила ряд международных поставок виброисточников: в Индонезию, Индию, Турцию. А индийская компания ONGC определила нашу компанию, как эксклюзивного поставщика.

На сегодняшний день ЗАО «Геосвип» является единственным предприятием в России, выпускающем данный вид техники, который будет востребован еще долгие годы.

Т. А какие еще виды продукции выпускает ЗАО «ГЕОСВИП»?

А. С 2012 г. ЗАО «Геосвип» предлагает геофизикам импульсный электродинамический источник сейсмических сигналов ИДД-20 «Волгарь», разработанный в сотрудничестве с Тольяттинским государственным университетом и получивший положительные отзывы по результатам работ на предприятиях: ВНИИГеофизика, Ставропольнефтегеофизика и ТНГ-Групп.

Этот источник применяется для исследования зоны малых скоростей и для работ по ВСП.

В настоящее время ЗАО «Геосвип» разрабатывает более мощный импульсный источник на 27-30 т.с.

Т. Какую долю российского рынка геофизического оборудования в сегменте виброисточников занимает продукция ЗАО «ГЕОСВИП»?

А. По анализу международной компании «Делойт», которая предоставляет услуги в области аудита, управленческого и финансового консультирования государственным и частным компаниям, доля ЗАО «Геосвип» в сегменте виброисточников на Российском геофизическом рынке в 2011 году составила примерно 38%. Нашими конкурентами являются крупные компании США (ION и IVI), Франции (Sersel) и в последнее время Китая (BASV), которые проводят агрессивную политику по завоеванию геофизического рынка России. По данным компании «Делойт» в 2011 году доля Sercel составила 35%, а доля ION - 6%. Доля других компаний составила 21%.

Т. Неплохие результаты. Особенно если учесть с какими гигантами в

области геофизического приборостроения вашей компании приходится конкурировать.

Николай Петрович, Вы, безусловно, являетесь одним из видных организаторов геофизического приборостроения в нефтегазовой отрасли страны. Как Вы оцениваете нынешнее состояние российского геофизического приборостроения?

А. Сегодня Российское геофизическое приборостроение находится в очень трудном положении. Чтобы сохранить ту школу в области геофизического приборостроения, которая создавалась в 70-90 годы двадцатого столетия в нефтегазовой и геологоразведочной отраслях, необходима финансовая государственная поддержка на возвратной основе. Сегодня рентабельность приборостроительных компаний не позволяет в полной мере вести разработку (НИОКР) новой техники и технологий, а какое-либо государственное регулирование в этой наукоемкой сфере отсутствует. Я, неоднократно обращался в Правительство России и профильные ведомства с этими вопросами. Ответы носят формальный характер. Чиновники говорят: «У нас рыночная экономика и рынок отрегулирует, нужна конкуренция». Теоретически, наверное, это правильно, но в любой рыночной экономике имеются элементы планирования. Как я уже говорил, отвечая на Ваш вопрос о конкурентах, нашими конкурентами являются французские, американские и китайские компании. Первые две являются ведущими в мире компаниями в области геофизического приборостроения. Кроме виброисточников, они выпускают телеметрические системы, геофоны,

кабельную продукцию и т.д. Общие объемы данных компаний не сопоставимы с объемами соответствующих российских компаний. Естественно, зарубежные компании имеют значительно большие финансовые возможности. Снижение объемов выпуска виброисточников может быть компенсировано выпуском другой геофизической продукции. Что касается китайской компании, то там применяется другая тактика. Они демпингуют цены на виброисточники, чтобы осуществить больше продаж и освоить новые рынки, а государство компенсирует им затраты и часть прибыли. В таком случае, получая государственную поддержку, они могут осуществлять техническое перевооружение производства и расширять рынки сбыта. Поэтому конкуренция конкуренции рознь.

Т. *То, о чем Вы только что сказали, это констатация существующего положения в отрасли. А какие меры, по Вашему мнению, надо принять для того, чтобы исправить ситуацию?*

А. Спасибо за вопрос. Я, возможно, отвечу на него несколько пространно, но, поверьте, наболело! На мой взгляд, существует ряд проблем, которые надо решать немедленно. В частности, необходимо:

1. В законодательном порядке восстановить финансовые целевые отчисления на воспроизводство минерально-сырьевой базы. Не секрет, что при дефиците финансов, в отечественных нефтяных компаниях первыми «под нож» идут договора, связанные с геологоразведкой.

Как следствие, геофизические компании не могут провести техническое перевооружение, а приборостроительные компании лишаются источни-

ка существования.

2. Рекомендовать нефтяным и газовым компаниям в тендерных документах на проведение ГРП не указывать конкретно, с каким оборудованием геофизические компании должны выполнять геофизические исследования. Как правило, в этот перечень попадает оборудование, пролоббированное зарубежными компаниями. Эти условия ставят заслон для применения аналогичного российского оборудования: виброисточников, телеметрических станций. И это при том, что по оценке геофизиков и геологов геолого-геофизические материалы с применением российской техники абсолютно ничем не отличаются от материалов, полученных с использованием импортного оборудования.

3. Желательно на новые НИОКР получать государственный заказ или субсидии для их реализации, в объеме 20-30% от мощности компании. Это должно существенно повысить конкурентоспособность отечественных компаний.

4. Зарубежное геологоразведочное оборудование должно проходить обязательную сертификацию в России. Парадокс заключается в том, что к отечественному оборудованию это требование выставляется повсеместно, а к зарубежному нет!

5. Упростить процедуру возврата НДС на продукцию, поставляемую на экспорт. Существующая процедура не обеспечивает быстрый возврат НДС предприятиям. Предприятие постоянно испытывает дефицит оборотных средств. Срок возврата НДС достигает шести месяцев. В налоговую инспекцию необходимо представлять огром-

ное количество не относящихся к делу документов. Считаю целесообразным в налоговые органы дополнительно представлять только информацию о технико-экономических показателях за последние 3 года и документ, подтверждающий срок, в течение которого данная компания работает на рынке.

6. Упростить условия выдачи кредитов для машиностроительных и приборостроительных предприятий среднего бизнеса. Сегодня выдача кредита ВТБ, Сбербанком и другими банками обусловлена обязательным залогом производственных зданий, сооружений, земли и личным поручительством руководителя предприятия. Эти требования заранее создают угрозу существования всего бизнеса предприятия (т.к. в случае форс-мажора оно теряет свой бизнес). Считаю, что для предприятий малого и среднего бизнеса банки должны предоставлять более мягкие условия кредитования. В качестве залога должны фигурировать: технологическое оборудование, складские материальные запасы и продукция, которую выпускают эти предприятия.

7. Предусмотреть государственную поддержку по техническому перевооружению машиностроительных предприятий, выпускающих оборудование для нефтегазового комплекса (в частности для геологоразведки), в виде долгосрочных займов. При рентабельности (10-15%) и цикличности заказов машиностроительные предприятия не могут провести техническое перевооружение за счет собственных средств, т.к. выплата процентов по кредиту «съедает» практически всю прибыль. Износ технологического оборудова-

ния, как правило, составляет 70-75%.

8. Ввести таможенные пошлины на ввоз иностранного оборудования для проведения геологоразведочных работ (невзрывные виброисточники, телеметрические регистрирующие системы). Аналогичное оборудование выпускается российскими товаропроизводителями.

9. Разработать государственную программу или подпрограмму по подготовке трудовых ресурсов рабочих специальностей и, в частности, рабочих-станочников. Если и дальше не принимать никакие меры, то эта очень острая на сегодня проблема станет в недалеком будущем катастрофической. Сегодня средний возраст рабочих-станочников составляет 50-60 лет. Профессию станочников, сварщиков, слесарей надо сделать более привлекательной (т.е. высокооплачиваемой, престижной, социальнозначимой). Необходимо возродить профтехобразование, широко привлекая молодежь, показывая ей перспективу выбранной рабочей профессии. Государство должно оказывать помощь регионам, а те, в свою очередь, предприятиям по строительству малосемейных общежитий.

Сегодня стало очевидным, что ипотека не решает все вопросы по приобретению жилья. За весь период возврата кредита по ипотеке гражданин платит практически двойную цену. Взяв кредит, человек попадает в финансовую «кабалу». Молодым семьям, работающим в промышленности, надо давать ипотечный кредит под 2-3%, тогда будут подвижки. А государству надо идти на это, так как без трудовых ресурсов нет развития

экономики.

Т. *Что ж. Готов подписаться под каждым пунктом изложенной Вами программы действий. Уверен, что Ваше мнение относительно путей решения проблем, стоящих перед отечественным геофизическим приборостроением, да и не только перед геофизическим, разделят все читатели нашего журнала. А как Вы оцениваете возможность входа отечественных приборостроительных компаний в геофизический холдинг?*

А. Я всецело поддерживаю такой вариант. Современный мир требует от бизнес-сообщества как гибкости, умения реагировать на быстро изменяющиеся условия, так мощи, доступной только крупным корпорациям. Холдинги наилучшим образом отвечают этим современным требованиям. Конечно, если Вы вошли в холдинг, это еще не значит, что теперь как манна небесная в руки посыплются заоблачные прибыли. Но благодаря разноплановости и разнонаправленности компаний, входящих в холдинг, можно создать замкнутый цикл производства внутри холдинга, когда ни один из процессов внутри холдинга не будет зависеть от фирм, не входящих в холдинг.

Чтобы выжить, предприятиям геофизического приборостроения надо привлекать серьезных инвесторов, в том числе крупные геофизические сервисные компании, с возможным входом приборостроительных фирм в геофизический холдинг. Например: Росгеология, Геотек или Роснефть.

Ни для кого не секрет, что в Запад-

ной и Восточной Сибири идет строительство нефтегазопроводов. По обязательствам, взятым Правительством РФ по поставкам углеводородного сырья в зарубежные страны, ясно, что эти нефтегазопроводы не могут работать на полную мощность. Поэтому нужно в гораздо большем объеме финансировать геологоразведочные работы в Западной и Восточной Сибири и открывать там новые месторождения углеводородов. В свою очередь, российские предприятия нефтегазового сервиса и машиностроения готовы взять на себя обязательства по обеспечению геофизических компаний, выполняющих геологоразведочные работы в этих регионах, высокоэффективным, современным оборудованием отечественного производства.

Т. *Николай Петрович, заканчивая наше интервью, я, прежде всего, хочу поблагодарить Вас за столь обстоятельные и весьма аргументированные ответы на заданные вопросы.*

В процессе подготовки к данному интервью я наткнулся на любопытную заметку в газете «Кимры сегодня». В частности, в ней сообщалось о создании в Кимрах Центральной опытно-методической экспедиции и о назначении директором ЦОМЭ молодого, энергичного руководителя Николая Алелюхина. Название заметки – «Геофизики - наша гордость». Думаю, что теперь мы имеем все основания предпослать данному интервью заголовок – «Такие геофизики – наша гордость!»

А. Большое спасибо. Я же, в свою очередь, хочу пожелать Вам здоровья и успехов во всех начинаниях.

СЛЕДУЮЩЕЕ ПОКОЛЕНИЕ МОДУЛЕЙ ZLAND

НОВЕЙШИЙ, ИЗЯЩНЫЙ, САМЫЙ ДРУЖЕЛЮБНЫЙ МОДУЛЬ ДЛЯ ОКРУЖАЮЩЕЙ СРЕДЫ НА ЗЕМЛЕ

Надежная, эффективная бескабельная регистрация, в любом месте

Весит в пять раз меньше чем обычная кабельная система и устраняет все связанные с ней проблемы, новые ZLand и ZLand 3C модульные системы предлагают Вам еще больше эксплуатационных преимуществ:

- Повышенная гибкость – возможность подключения внешнего датчика по Вашему выбору
- Истинно бескабельный модуль может быть безопасно скрыт с глаз под землей
- Низкие транспортные и логистические расходы
- Безопасная, быстрая установка – один человек может легко переносить сумку из восьми модулей
- Непрерывная регистрация без проблем
- Надежность более 99%
- Минимизация воздействия на окружающую среду
- Облегченное получение разрешений
- Совместим с любой системой, конфигурацией источника и технологией возбуждения
- Работает в любой сухопутной среде, с любой конфигурацией модулей

Наш Московский офис:

107113, Россия, Москва, Сокольнический вал 2А
строение 2, офис 111
Тел: (916) 370-26-20, (495) 725-42-91



fairfieldnodal.com

СИСТЕМЫ СЕЙСМОРАЗВЕДКА ЛИЦЕНЗИРОВАНИЕ ОБРАБОТКА ВИЗУАЛИЗАЦИЯ

Жизнь связала с сейсморазведкой?



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



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