ISSN 2074-8906

ПРИБОРЫ и СИСТЕМЫ РАЗВЕДОЧНОЙ ГЕОФИЗИКИ

ОБЩЕРОССИЙСКИЙ НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЕЖЕКВАРТАЛЬНЫЙ ЖУРНАЛ

АПРЕЛЬ-ИЮНЬ
2/2021
Издается с 2002 г.

ТЕМА НОМЕРА:



Бескабельные технологии СЕЙСМОРАЗВЕДКИ

ТАКЖЕ В НОМЕРЕ:

Продолжение статьи по технологии АВИС от специалистов компании ГСД

SMARTSOLO
World's First Smart Seismic Sensor

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЙ СЕЙСМИЧЕСКИЙ ДАТЧИК

СОВЕРШАЕТ ПЕРЕВОРОТ В СТОИМОСТИ ГЕОЛОГОРАЗВЕДОЧНЫХ РАБОТ

работы ведутся вдвое быстрее

на 50% уменишается количество рабочих бригад и техники на проекте

на 50% снижена операционная стоимость проекта



ВЫСОКОПЛОТНУЮ СЕЙСМОРАЗВЕДКУ ТЕПЕРЬ МОЖНО ДЕЛАТЬ ДЕШЕВО!

《ВКонтакте》

Первый в мире интеллектуальный сейсмический датчик
Высокоплотная и экономичная сейсморазведка — теперь это возможно

Email: marketing@dtcc.asia
Tel:+86-10-60844158
Website: www.smartsolo.com.ru/www.dtcc.biz

Общие глобальные поставки
300,000
каналов

ТЕМА НОМЕРА:
Тема номера «Бескабельные технологии сейсморазведки»

СОДЕРЖАНИЕ:

Наши партнеры 4

КОЛОНКА РЕДАКТОРА
Главный редактор журнала Слонов Д.Н. 5

ТЕМА НОМЕРА
Тенденции рынка сейсморазведочных услуг в использовании бескабельных технологий
Интервью с Воцалевским В.З. 6

Перспективы бескабельных технологий на российском рынке сейсморазведочных услуг
Интервью с Толкачевым В.М. 12

Работа нодальной системы сбора сейсмических данных Quantumв полевых условиях
Диннис П., Литвиненко А. 16

Расширяя возможности – о задаче внедрения бескабельных систем в производственные работы ТНГ-Групп
Мустафин И.Р., Будяк А.В. 22

Высокопроизводительные сейсморазведочные работы МОГТ сейсморазведочные работы МОГТ 3D с комбинированным регистрирующим оборудованием
Романов А.И., Хухарев А.О.. 29

Бескабельные телеметрические системы – основной тренд развития сейсморазведки
Тарасов Н.В. Гнатюк А.И. 39

Нодальная система для эффективной сейсморазведки в российских условиях
Стивен Уилкокс 47

Уменьшение размеров нодальных систем, открывающее перспективы высокоплотной сейсморазведки
Амин Оураба 57

Сравнение нодального модуля SmartSolo 5HZ 3C с оборудованием Magseis Fairfield 5Hz 3C на испытательном полигоне PASSCAL
Zheing Tong 60

Имеет ли реальное время значение?
Кузьмичев В.Е. 66

Беспроводная регистрирующая система STRYDE – будущее наземной сейсморазведки
Твердохлебов Д.Н., Гуренцов Н.Е., Аблязина Д.Е., Давыдова Е.А., Колескин Д.С., M. Popham, C. Einchcomb, A. Ourabah 73

ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ ТЕХНОЛОГИИ
Адаптивные технологии вибрационной сейсморазведки. Часть II
Жуков А.П., Коротков И.П. 87

Плотная сейсмика с применением кабельного оборудования и группированием приемников как альтернатива нодальным системам
Осипова А.В., Малюта С.И. 100

ГЕОФИЗИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ
· ООО «НОВЫЙ ВОСТОКГЕО» - развивая горизонты сотрудничества
Махортов П.Р., Бызова Д.А. 106

ЛЮДИ, ДАТЫ, СОБЫТИЯ
Сейсмический проект по изучению оползневых систем в кратере Салази на о. Реньон с использованием датчиков SmartSolo 111

Результаты семинара: «Исследования с использованием оптоволоконных распределенных акустических систем (DAS) для разведки и мониторинга разработки месторождений»
Токарев М.Ю., Певзнер Р., Шаталин С. 113

НАШИ ПАРТНЕРЫ

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

Главный редактор:
Слонов Д.Н.

Редакционная коллегия:
к.т.н. Абдулвалиев М.Т.
к.т.н. Белоусов А.В.
к.г-м.н. Волкова Е.Н.
Воцалевский В.З.
д.т.н. Гогоненков Г.Н.
к.т.н. Горбачев С.В.
Гурьев С.В.
к.т.н. Детков В.А.
д.т.н. Жуков А.П.
Запорожец Б.В.
д.г-м.н. Золотая Л.А.
д.т.н. Кострыгин Ю.П.
д.г-м.н. Михеев С.И.
к.т.н. Тарасов Н.В.
к.т.н. Циммерман В.В.
к.т.н. Череповский А.В
д.т.н. Шехтман Г.А.

Руководитель проекта
Матвеев С.А.

Корректор:
Матвеева И.Э.

Учредитель:
СРО МОО ЕАГО

Издатель:
ООО «ПСРГео»

Адрес издательства:
г. Саратов. Ул.Осипова, 1
Телефон +7-987-822-68-37

Обложка и оформление:
Мокроусов Д.В.

Вёрстка:
Мокроусов Д.В.

Тираж отпечатан в типографии ООО «Формат»
Тел. +7 (8452) 39-33-77
Тираж: 300 экз.

Подписано в печать:
10.06.2021

Дата выпуска:
25.06.2021

Ответственность за подбор и изложение фактов в статьях несут авторы. Редколлегия может публиковать статьи, не разделяя точки зрения авторов. Контакты с авторами статей ведутся через редакцию.

Издание зарегистрировано в Министерстве РФ по делам печати, телерадиовещания и средств массовых коммуникаций за номером ПИ № 77-7906 от 27.04.2001 г.
ISSN: 2074-8906
Web-сайт: psrgeo.ru

Уважаемые коллеги и друзья!

Поздравляю вас с выходом очередного журнала «Приборы и системы разведочной геофизики». Второй номер издания за 2021 год посвящен бескабельным технологиям в наземной сейсморазведке. Пожалуй, впервые под одной обложкой собрана информация о всех бескабельных сейсморегистрирующих системах, представленных на российском рынке. И читатели смогут самостоятельно оценить технические возможности того или иного оборудования.

Но одних технических характеристик оборудования для его широкого использования мало. Для бескабельных систем необходимо изменение всего подхода к организации сейсморазведочных работ. Об этом в номере два интервью: с руководителем управления сейсморазведочных работ компании «Газпромнефть-ГЕО» Воцалевским В. З. и президентом холдинга «Геотек Сейсморазведка» Толкачевым В. М. Уверен, что мнение топ-менеджеров компании-заказчика и компании-исполнителя сейсмических работ станет интересно многим.

Лучшей рекламой нового оборудования являются проекты, выполненные успешно благодаря инновационным технологиям и аппаратуре. Сразу несколько публикаций подробно рассказывают, как и какие проекты были реализованы с применением бескабельных сейсморегистрирующих систем. Статьи, подготовленные специалистами компаний «Геотек Сейсморазведка» и «ТНГ-Групп» показывают, что бескабельные технологии сегодня успешно реализуются, давая отличных результат. Положительный опыт является лучшей рекламой для геофизических компаний, давая им возможность продвигать данные технологии и свои услуги другим заказчикам. В свою очередь, производители аппаратуры в таких публикациях получают информацию о потребностях рынка.

Про тенденции развития рынка и сейсморазведку «завтрашнего дня» - в собственных публикациях компаний-производителей бескабельного оборудования: Sercel, Wireless, Stryde, INOVA, DTCC, СКБ СП и других.

Хочется надеяться, что начатая дискуссия заказчиков, исполнителей сейсморазведочных работ и производителей оборудования продолжится, давая импульс широкому применению бескабельных систем. Что обязательно повысит экономическую и геологическую эффективность сейсморазведочных работ, конкурентоспособность отечественной геофизики на международных рынках.

Наши авторы ждут ваших откликов на страничках журнала в VK и FB, что обязательно повысит интерес к поднятой проблематике, давая информацию для новых дискуссий на тему «как работать эффективнее». Возможно, такой вопрос вообще заслуживает отдельного номера журнала в будущем.

А пока объявляем тему следующего номера - «Геофизические исследования этапа разработки» - мониторинг эксплуатации месторождений, геофизическое сопровождение работ ГРП, минимизация рисков добычи, технологии пассивной сейсморазведки, сейсморазведка 4D - и многие другие задачи, в решении которых геофизика помогает нефтяникам. Ждем публикаций на эти и другие актуальные темы.

А пока – приятного вам прочтения журнала «Приборы и системы разведочной геофизики»!

С уважением,
Главный редактор журнала





Слонов
Дмитрий
Николаевич

Тенденции рынка сейсморазведочных услуг в использовании бескабельных технологий

Наша беседа с Начальником управления сейсморазведочных работ компании ООО «Газпромнефть-ГЕО» Воцалевским Владиславом Збигневичем.



Дмитрий Слонов: *Уважаемый Владислав Збигневич! Не секрет, что именно компания Газпромнефть смелее прочих крупных нефтяных компаний осваивает новые технологии и методики. В том числе и с использование бескабельного оборудования. Не могли бы Вы рассказать о геологических задачах, в решении которых данное оборудование показало свою эффективность.*

Владислав Воцалевский: Доброго дня всем нашим уважаемым читателям, друзьям и коллегам геофизикам!

Полагаю, что бескабельное регистрирующее оборудование эффективно решает те же геологические задачи что и стандартное, передающее данные по кабелю в реальном времени. Но использование бескабельного оборудование во многих случаях удобнее и эффективнее. Наша компания уже не первый год рекомендует использовать при проведении работ на площадях в Западной Сибири не менее 50% бескабельных нодов. Были успешные примеры работы полевых партий, полностью обеспеченных бескабельным оборудованием, в том числе, передающих данные в реальном времени.

Собственный геофизический сервис сербской нефтяной компании НИС уже несколько лет работает в своём регионе исключительно с бескабельным оборудованием, успешно решая задачу разведки углеводородов в густонаселенных районах, полностью занятых сельхозугодьями с преимущественно маленькими (по российским меркам) земельными участками. Даже с бескабельным оборудованием, обеспечивающим минимизацию потрав сельхозкультур, главной проблемой остаётся вопрос разрешений и компенсаций, взаимодействие с сотнями или тысячами землевладельцев. Пока использовалось кабельное оборудование, хозяева участков часто просто отказывали в допуске техники на свои наделы. В результате системы наблюдений трансформировались в существенно нерегулярные, что накладывало отпечаток на точность и детальность результатов интерпретации.

ДС: *Многие производители бескабельных датчиков, говоря о преимуществах такого оборудования, делают акцент, прежде всего, на экономическую целесообразность внедрения бескабельной телеметрии. За счет чего, на Ваш*



взгляд, можно достигать реальной экономии средств исполнителей и общего снижения стоимости работ для недропользователей.

ВВ: Действительно, в начальный период входа производителей бескабельных систем на российский рынок мы слышали фантастические рассказы о экономии затрат до 40%. Но в наших реалиях при организации полевых работ в условиях автономии, подобная экономия конечно недостижима. Полевые работы в США, когда сезонные работники сейсмоотряда живут в гостинице в ближайшем городке, питаются там же, приезжают на работу на своих машинах и так далее, не требуют организации базового лагеря полевой партии. При такой организации работ экономия действительно может быть существенной. В России мы как правило несём существенные затраты на обеспечение производства работ, которые ложатся существенным бременем на общий бюджет проекта.

Тем не менее, широкое внедрение в производство бескабельного оборудования в комплексе с другими техническими и организационными решениями, используемыми на сейсморазведочные проектах ГПН, позволяет если не сократить стоимость работ в сравнении с предшествующими сезонами, то выдержать уровень затрат на единицу площади исследований даже при повышении сложности методик и достаточно высоких требований не только к качеству данных, но и к качеству жилищно бытовых условий в полевых партиях. Не секрет, что полевые партии разных подрядчиков, работающих для ГПН, существенно лучше оснащены по всем социально культурно бытовым параметрам, чем полевые партии, выполняющие работы на других Заказчиков.

Я бы сформулировал нашу цель внедрения новых технологий не в плане снижения цены для подрядчиков, а скорее в плане повышения культуры производства, в первую очередь по безопасности выполнения работ, и повышение эффективности исследований без дополнительных затрат со стороны Заказчика. Если мы год за годом сохраняем для себя стоимость работ и при этом повышаем их безопасность и качество, значит мы экономим для Компании как минимум ежегодный процент инфляции и получаем больше за те же деньги, в том числе



самое главное - отсутствие несчастных случаев на производстве, все части которого состоят из работ повышенной опасности.

ДС: *Бескабельное оборудование расширяет возможности работы в сильно пересеченной местности, на труднодоступных участках. Несмотря на то, что поставить и обслужить нодгораздо проще, чем кабельный канал, создавать регулярные системы наблюдения в таких зонах все равно очень трудно. Ваше отношение к нерегулярным системам наблюдения?*

ВВ: Я уже говорил ранее, что коллеги в Сербии работают только с бескабельным оборудованием по причине невозможности получения качественных данных из за отказов местных землевладельцев в допуске на свои участки транспорта для размотки кабелей. Но в ГПН есть примеры, когда только бескабельное оборудование дало возможность получить данные. Сейсморазведка в горных регионах Иракского Курдистана или в особоохраняемых территориях Западной Сибири. Применение нерегулярных систем всегда вынужденная мера, но часто абсолютно оправданная особыми поверхностными условиями. Причём не только природными, но и инфраструктурными, особенно в густонаселенных районах. В принципе, любая наша планово регулярная система наблюдений превращается в квазирегулярную после появления смещений, обусловленных рельефом, орогидрографией, охранными зонами инфраструктурных объектов или особоохраняемыми природными территориями. Понятно, что бескабельные системы, которые можно установить в пешем порядке, обеспечат значительно большую равномерность системы наблюдений и могут частично или почти полностью нивелировать проблему нерегулярности.

ДС: *Существующие сегодня требования к качеству сейсморазведочных работ, выросшие, кстати, еще из советской инструкции по сейсморазведке, не предусматривают использование систем без ежедневного мониторинга*

регистрируемых данных. Какие корректировки в системе контроля качества позволят внедрять «слепые системы» на реальных проектах?

ВВ: В нашей компании требования и допуски по контролю качества регистрируемых данных были своевременно откорректированы во время реализации технологического проекта «Зелёная сейсмика», который подразумевал внедрение бескабельного оборудования, переход на точечные группы приема и внедрение ряда других новаций в технологии и методике выполнения СРР 3Д.

Повышены допуски по количеству отсутствующих каналов, допустимый уровень микросейсма и соотношения сигнал шум определяется для каждой конкретной площади исследований, а не обобщается для региона, как было принято в некоторых компаниях. Для бескабельных нодов предусматривается выборочный контроль качества активной расстановки. В прошедшем сезоне проводились ОПИ по скачиванию данных с нодов с помощью беспилотных летающих аппартаов, переносящего харвестер по заданным маршрутам. Т.е. наш подход достаточно гибкий, хотя подрядчикам было бы проще работать со слепыми системами без оперативного контроля, а потом сдавать данные, когда уже ничего нельзя исправить и требовать полноценной оплаты, поскольку работа выполнена в соответсвии с согласованной методикой. Полагаю, что никто лично таким сервисом, когда деньги надо заплатить за факт оказания услуги, а не за ее качество, не стал бы пользоваться более одного раза. Поэтому контроль неизбежен.

Использование полностью слепых систем без какого-либо контроля за качеством данных на ежедневной основе я считаю достаточно рискованным решением, в первую очередь по основной причине, вызывающей большую часть проблем, и причина эта - человеческий фактор. Все мы знаем что даже в лучших партиях периодически устраняются недостатки приёмных расстановок, которые могут существенно повлиять на качество. Существует сезонный фактор с весенними перепадами температур, также требующий своевременного реагирования и корректировки установки датчиков в массовом порядке. Полностью слепая система вероятнее всего приведёт к избыточной неоднородности регистрируемого волнового поля, не постоянной для каждой точки регистрации. Это проблема, которую вероятно не удастся нивелировать даже самыми лучшими алгоритмами на стадии обработки данных.

Если неоднородность вызвана сейсмогеологическими условиями, в том числе поверхностными, она неустранима, физически обусловлена, постоянна и корректируется поверхностно согласованными и другими процедурами. На переменной неоднородности потребуются разные корректирующие коэффициенты для одной и той же точки, что как минимум, существенно осложнит процесс и не гарантирует правильность результата.

Я бы предложил рассматривать полностью слепые системы, которые должны быть достаточно дешевыми в производстве, в первую очередь как уплотняющие расстановку между более дорогими нодами с возможностью полной или частичной передачей данных.

ДС: *Производители бескабельных систем развивают технологии самопозиционирования, повышают чувствительность аппаратуры, увеличивают время непрерывной работы. В то же время, на мой взгляд, мало внимания уделяют системам он-лайн контроля датчиков. Хотя, именно в выборочном контроле данных непосредственно на профиле без доставки приборов на базу может быть путь внедрения данного оборудования. Какие геофизические параметры на Ваш взгляд должны*

удобно и быстро сниматься с нодов непосредственно в поле?

ВВ: Полностью согласен с актуальностью Вашего вопроса.

Если говорить о массовом ежедневном контроле, то количество необходимых данных для определения статуса работоспособности канала регистрации не так уж велико. Уверен, что производители и сами знают, что необходима оценка точности установки по вертикали, заряда батареи для превентивного определения времени до отключения устройства, работоспособности GPSмодуля, обеспечивающего точность синхронизации для слияния данных в сейсмограммы, и желательно уровня микросейсмов. Все остальные параметры можно проверять в момент скачивания данных и зарядки батарей. Системы с кварцевыми часами и редкой периодической синхронизацией по GPS требуют особого внимания, поскольку любой сбой приведёт по факту к потере данных.

К сожалению, в нашей практике были случаи не только фрагментарной, но и массовой потери данных по причине отключения достаточно большого количества нодов из-за разряда батарей или низких температур, когда ноды отключаются автоматически. Перестрел таких потерь не всегда возможен в когда активная расстановка уже «ушла вперед», и в связи с дефицитом времени невозможно тормозить производственный процесс.

Так что минимально необходимые возможности контроля существенно снизят риски потерь и безусловно приведут к расширению использования бескабельных систем всеми заказчиками в РФ, а не только группой ГПН.

ДС: *Возможно, именно бескабельное оборудование, внедряемое в производство в больших количествах, позволит создавать новый геофизический продукт, новые услуги, недоступные для традиционных кабельных систем. Какие новые геологические задачи должны научиться решать геофизики сегодня, чтобы предлагать их в дальнейшем недропользователям.*

ВВ: Геологические задачи становятся все сложнее, но мы по-прежнему не можем избавиться от проблемы пространственного шага дискретизации данных, недостаточного для устранения эффекта аляйсинга. В идеале, математический аппарат при сигнальной обработке должен полностью очистить сигнал от помех с сохранением амплитуд, и после этого передать идеальные данные для оценки динамических параметров и последующей интерпретации данных. Для применения бескабельного оборудования, в том числе слепого, самые широкие возможности. Пока все упирается в цену. Оценка потенциального прироста информативность и качества решения геологических задач в сравнении с приростом стоимости полевых работ при сгущении шага приема до уровня избежания аляйсинга приводит к решению что будем работать по-прежнему или не будем работать вообще.

Т.е. ключевая проблема скрыта в уровне затрат на полевые работы. Мы надеемся на постепенное сокращение стоимости регистрирующего канала, что позволит нам стать ближе к получению идеальных данных. Но пока желаемый уровень не достигнут.

ДС: *Будет ли Ваша компания по-прежнему выделять бюджеты на НИР для развития технологий сейсморазведочные работ? Заинтересована ли ГПН в совместных с подрядчиками или производителями разработках новых технологий?*

ВВ: Мы за последние годы уже потратили много десятков миллионов рублей на оплату НИР и ОПР, выполненных подрядчиками по нашим заказам, надеюсь, что и в дальнейшем, ГПН останется наиболее динамично развивающейся высокотехнологичной компанией, выделяющей

деньги на развитие геофизической отрасли. Достаточно много мы тратим на предварительных этапах разработки технологий, когда они еще не готовы к практическому применению, но являются перспективными направлениями развития. И на наших форумах делимся идеями с коллегами, рассчитывая на взаимовыгодное взаимодействие. Но все мы понимаем, что желания ограничиваются экономическими возможностями, определяемыми и макроэкономическими условиями, и государственной политикой.

Безусловно, мы заинтересованы в совместных разработках и различных видах технологических партнерств. Но мы не можем финансировать все перспективные разработки за свой счёт, выделяя бюджеты на развитие отрасли без соответствующих пропорциональных затрат со стороны партнеров, которые так же будут пользоваться результатами от внедрения новых технологий для повышения эффективности собственного бизнеса. В идеале хотелось бы иметь партнеров, которые сами бы несли основные затраты на развитие и инновации, а мы как заказчик, получали бы более высокотехнологичный и качественный сервис, полностью закрывающий наши потребности.

Уже давно мы стараемся относиться к коллегам подрядчикам как к партнерам, а не просто как к исполнителям, надеюсь, что подобное взаимодействие будет только расширяться и углубляться.

ДС: *Сегодня в России в эксплуатации находится порядка полутора миллионов кабельных каналов различных систем и всего порядка 50 тысяч каналов бескабельных. Как должно измениться это соотношение в течении ближайших пяти лет, если внедрение бескабельных систем будет идти успешно. Думаю, от оценки целесообразного количества бескабельных нодов зависит стратегия и геофизиков, и производителей бескабельных систем.*

ВВ: Полагаю что для региона Западной и Восточной Сибири на залеченных территориях, не менее 50% новых каналов, закупаемых для замещения выходящих из строя должны быть бескабельным и в течении 5 лет соотношение поменяется соответствующим образом. Полагаю, что для начала можно рассчитывать на 25% бескабельных каналов, а в дальнейшей перспективе возможно и до 50%, при наличии возможности оперативного контроля качества работы каналов в поле без доставки на базу, хотя бы выборочного.

Идеальным вариантом было бы увеличение количества каналов бескабельных систем, передающих полные регистрируемые данные в реальном времени или хотя бы статусы состояния достаточные для контроля и минимизации рисков потери данных. Но и полностью слепые системы имеют хороший шанс широко войти на рынок в комбинации с теми, которые мы используем сейчас. Как уже говорилось выше, вопрос стоимости являются определяющим. Как только стоимость бескабельных каналов приблизится к 100 долларам за единицу, мы сможем перейти на шаг приема 5 10 метров и производители бескабельного оборудования получат абсолютное преимущество на рынке РФ.

ДС: *Владислав Збигневич, спасибо за то, что Вы поделились с нашей аудиторией своим видением перспектив бескабельного оборудования на отечественном рынке. Уверен, что будет полезно для разработки стратегии развития и нефтяных компаний, и геофизиков-сейсмиков, и производителей сейсморазведочного оборудования. Удачи Вам во всех начинаниях и смелых проектах. Будем ждать рассказов о новых успешных проектах, выполненных в том числе и с учетом Ваших рекомендаций.*

Перспективы бескабельных технологий на российском рынке сейсморазведочных услуг

Интервью с Президентом компании «ГЕОТЕК Сейсморазведка» Толкачевым В.М.



Дмитрий Слонов: *Про преимущества кабельных и бескабельных систем написано много. Кабельные системы позволяют видеть все, происходящее в процессе работы, чутко реагируя на ситуацию, а бескабельные нодальные системы просты и дешевы в эксплуатации и дают возможность создавать сейсмический канал в самых труднодоступных местах. Что выбрать и с чем работать – вопрос непростой, особенно в условиях конфликта задач роста требований к качеству съемки и необходимости оптимизации цены на услуги. Мнение руководителя одной из крупнейших геофизических компаний России будет интересно как производителям нового оборудования, так и остальным участникам рынка сейсморазведки.*

Владимир Толкачев: Первый известный сегодня сейсмограф маятникового типа изобрел китайский ученый Чжан Хэн в 132 г.н.э. Первый сейсмограф наиболее широко распространенного в современной сейсморазведке электромагнитного типа изобретен князем Голицыным в 1906 г. Причем, оба устройства в рамках принятой сегодня классификации – типичные нодальные системы. Так что тема номера насчитывает без малого две тысячи лет, а однозначного ответа на вопрос о преимуществах той или иной системы так и не найдено. Да, наверное, его и нет, т.к. задача является слишком многофакторной. Да и сами системы сбора данных тоже являются лишь одним из компонентов сейсморазведки, а говорить нужно о преимуществе или, точнее, оптимальности всей съемки в целом. Включая камеральный этап.

Однако, исходя из современных геологических задач и организационно-экономических реалий рынка наземной (да и морской) сейсморазведки тренд на

ближайшее десятилетие совершенно очевиден. Это широкополосные высокочувствительные нодальные системы, способные поддерживать высокоплотные широкоазимутальные съемки 3D.

ДС: *Какие параметры и характеристики нодального оборудования важны для сейсморазведчиков по Вашему мнению? О чем стоит задуматься производителям, создающим новые датчики для реализации технологических преимуществ автономных сейсморегистраторов?*

ВТ: Для сейсморазведчиков важны те параметры и характеристики, которые удовлетворяют потребностям современных заказчиков. Если потребность заключается в поисковых работах 2D с сугубо структурными задачами, то, вполне вероятно, и кабельная система будет оптимальным решением. Однако если эти же работы выполняются в условиях труднодоступной гористой местности, на первый план выйдут такие параметры, как вес отдельных блоков и простота смоточно-размоточных операций, что склоняет чашу весов в пользу нодального оборудования. Если же говорить об основном предназначении нодальных систем – выполнении высокоплотной широкоазимутальной съемки 3D с 50-70 тысячами каналов в активной расстановке, то приоритетность характеристик я бы расположил в такой последовательности: надежность, компактность, энергоемкость, чувствительность, ширина АЧХ.

А производителям я бы порекомендовал подумать над созданием «модульных» нодов, функционал которых можно было бы наращивать в зависимости от сложности съемки, т.е. геологических задач, вместо того, чтобы полностью менять регистрирующую систему. Наиболее близкая аналогия – идея конструктора «Лего».

ДС: *Без смены подхода к системе контроля качества полевых данных широкое внедрение нодальных систем невозможно. Что должно поменяться в требованиях заказчика, для того чтобы открыть дорогу дешевому «слепому» оборудованию?*

ВТ: Идеология ЛНД практически всех российских заказчиков уходит корнями в «Инструкцию по сейсморазведке» 1986 года, т.е. предусматривает тотальный контроль расстановки в реальном времени и результатов работ ежедневно. Выполнение этих условий, строго говоря, сводит на нет практически все преимущества не только так называемых «слепых» (нодальных) бескабельных систем, но даже «полуслепых» (с передачей статусов). А работа в условиях таких ЛНД в договоре и неформальных договоренностей о возможности смягчении их требований сопряжена со слишком большими рисками для подрядчика.

Поэтому вопрос необходимости изменений требований заказчика я бы рассматривал в двух плоскостях.

Если речь идет о применении нодальных систем на стандартных проектах, то, пожалуй, никаких изменений ЛНД и не требуется. Только не исключено, что положительный эффект их использования будет в значительной степени нивелирован необходимостью ежедневного скачивания данных.

Если же говорить о выполнении высокоплотных широкоазимутальных съемок, на которых преимущества нодальных систем очевидны, то можно взять за основу требования, используемые нашими зарубежными коллегами, например, в зоне Залива. ГЕОТЕК готов принять участие в разработки таких ЛНД.



ДС: *сегодня в России в работе находится примерно полтора миллиона кабельных каналов разных модификаций и только 40-50 тыс. каналов бескабельных, в основном задействованных на решение локальных, небольших задач. В то же время, в мировой геофизике соотношение кабельных и бескабельных систем примерно паритетно. Как вы оцениваете перспективы рынка бескабельных систем в ближайшие 5-10 лет в России?*

ВТ: Оцениваю, как уже сказал ранее, однозначно положительно с учетом тенденций и трендов мировой сейсморазведки на нефть и газ, реализация которых, к сожалению, в России пока практически не наблюдается.

Не могу не затронуть в этой связи еще один важный аспект – стоимость нодального оборудования. Учитывая, что его использование предполагает кратное уменьшение шага ПП, валовая стоимость одного нода (с учетом периферии) должна быть кратно ниже стоимости одного кабельного канала. На сегодня только STRYDE соответствует этому условию. Активизация разработки и производства нодальных систем в России, на мой взгляд, даст нам значительные преимущества в этом вопросе.

ДС: *Ваша организация уделяет большое внимание развитию новых технологий. Сегодня это сродни подвижничеству, хотя, несомненно, новые технологии будут серьезным конкурентным преимуществом. Но путь к их внедрению очень тернист. А ведь это является и государственной задачей – поддержка российских научно-технических разработок. К сожалению, на текущий момент в России практически отсутствуют идеологические центры*

разработки новых методик и технологий проведения сейсмических исследований. В этой связи очевидна необходимость воссоздания специализированных опытно-методических партий под патронажем государства. Или Вам видится иное решение этой важной государственной задачи?

ВТ: С подвижничеством, это Вы, конечно, слегка преувеличиваете, но ГЕОТЕК действительно уникальное предприятие, коллектив которого состоит не только из профессионалов производства, но и ученых разных школ и поколений. Есть идеи, есть их проработка, есть опытные образцы, есть разработки на пороге внедрения в производства. Преимущественно – за свой счет, но есть и примеры партнерства с нефтяными компаниями. Наши разработки нодальной системы с уникальным молекулярно-электронным датчиком «Открытие», системы синхронизации, технологии с импульсными источниками нового поколения, безусловно, обречены на успех.

Воссоздание же бюджетных опытно-методических партий, на мой взгляд, сравнимо с воссозданием института плановой экономики в стране. Думаю, этот подход себя изжил. Нужно развивать взаимовыгодное партнерство в том числе, и государственно-частное. Это может быть партия, лаборатория, IT-проект, например. Ну, и, конечно, ГЕОТЕК всегда готов к выполнению опытно-методических работ, реализуемых на конкурентных условиях Роснедрами в рамках государственных программ

ДС: *Владимир Михайлович, спасибо за Ваше интервью и регулярное участие публикациями специалистов компании «ГЕОТЕК Сейсморазведка» в нашем издании. Удачи Вам в реализации красивых и амбициозных планов, а нашей отрасли скорейшего развития технологий и создания нового оборудования мирового класса.*



Работа нодальной системы сбора сейсмических данных QUANTUM в полевых условиях

- Деннис Павел, INOVA Geophysical
- Алексей Литвиненко, Mitcham Seismic Eurasia, LLC

Предисловие

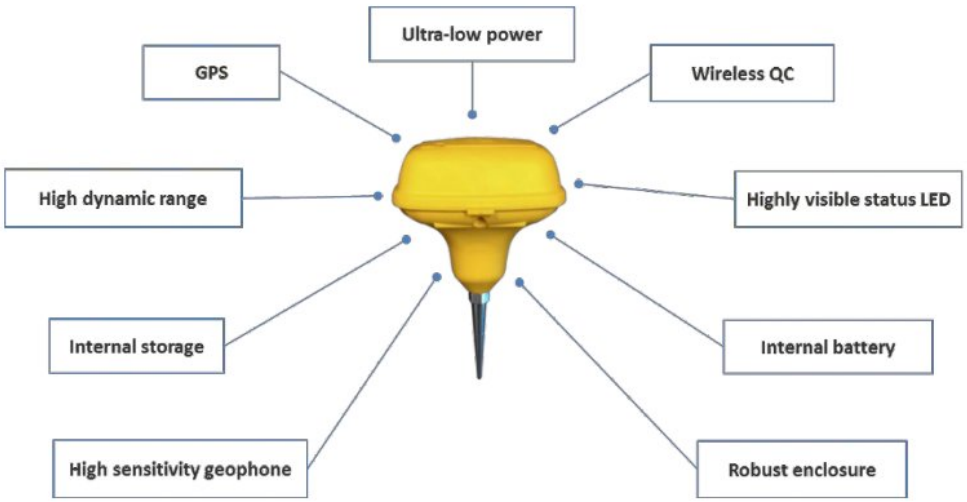
За последние несколько десятилетий на рынке наземной сейсморазведки появилось несколько поколений беспроводных систем сбора данных. По мере развития существующих технологий системы совершенствовались для повышения операционной эффективности. Бескабельные системы стали меньше, легче и компактнее. Улучшилась синхронизация системы и увеличилась автономность работы от батарей. Надежность систем последнего поколения была подтверждена на требуемом уровне на сейсмических программах, и бескабельная съемка стала набирать обороты на рынке.

Бескабельные системы последнего поколения, называемые нодальными системами, используют современные технологии для дальнейшего улучшения характеристик, упомянутых выше. Разработчики нодов имеют доступ к общему набору доступных технологий. Однако выбор используемой технологии и способа ее применения зависит от проектных решений, основанных на поставленных задачах. Это приводит к смешению характеристик и спецификаций нодов при сравнении их друг с другом. На противоположной чаше весов находится стоимость нода, требующая достижения баланса за счет конструктивных компромиссов в функциональных возможностях нода. Если основной упор делается на стоимости нода, то его функции и рабочие характеристики должны быть сокращены или даже совсем удалены, что часто переводит необходимые базовые функции на системный уровень, и тем самым увеличивает эксплуатационные расходы.

Нодальная система Quantum от компании INOVA является ведущим примером сбалансированного подхода к выбору между низкой стоимостью и высокой производительностью. В этой статье исследуются ключевые возможности Quantum с точки зрения работы в поле.

Обзор QUANTUM

Quantum - это многофункциональная нодальная система сбора данных. И сам нод, и вся система, обладают уникальными характеристиками, предназначенными для повышения производительности сейсмических работ. Нод Quantum легкий по весу, но в то же время прочный, имеет специальную форму корпуса, которая облегчает его расстановку в поле. В сочетании с увеличенным временем автономной работы и возможностью беспроводного контроля качества подрядчики сейсмических работ могут обеспечить сохранность и целостность сбора данных во время полевой регистрации. Система, включающая нод Quantum, названная iX1, это не второстепенное дополнение к ноду, а разработка на основе многолетнего опыта проектирования сейсмических нодальных систем сбора данных. Система iX1 состоит из аппаратного и программного обеспечения, которое обеспечивает управление источниками, визуализацию расширенного контроля качества и эффективное управление данными, и все это создано для выполнения качественных сейсмических работ. Обзор характеристик Quantum показан на Рис. 1.



▲ *Рис. 1. Обзор характеристик нода Quantum.*

Конкретные примеры использования

Quantum широко используется по всему миру в различных условиях окружающей среды. В этом разделе приведены примеры производительности Quantum в экстремальных условиях и способы использования функций Quantum для повышения производительности работы.

GPS и работа при низких температурах

Система Quantum была недавно развернута в двух регионах России с суровыми климатическими условиями с целью проверки нодов с точки зрения работоспособности GPS при их погружении в снег и эксплуатации при низких температурах.

Первый тест прошел в Красноярском крае, Восточная Сибирь. Этот район известен чрезвычайно сложными условиями для проведения сейсмических работ, в первую очередь из-за своего сурового климата. Ноды в нескольких местах были закопаны в снег на различную глубину, максимально до 90 см при сильном ветре и температурах до -30 градусов по Цельсию. На протяжении всего тестирования ноды Quantum ни разу не теряли синхронизацию со спутниками GPS и продолжали регистрацию в соответствии со спецификациями даже на самых больших глубинах под снегом.

Производительность батареи Quantum также показала отличный результат. После четырехдневной регистрации по 24 часа в сутки были сняты статусы, и на всех нодах осталось 95% от первоначального заряда батареи. Перед полевым тестом ноды Quantum были помещены в температурную камеру при -30 градусах по Цельсию. Они были запрограммированы на непрерывную регистрацию при этой температуре, и работали до тех пор, пока батарея не разрядилась. Результаты показали, что среднее время автономной работы всех тестируемых нодов составило 48 дней. Основываясь на результатах полевых испытаний, это соответствует более чем 44 дням оставшегося времени работы батареи, что указывает на то, что температура мало повлияла на емкость батареи Quantum при работе в полевых условиях при температуре до -30 градусов Цельсия.

Второе испытание проводилось в Рязанской области Центральной России. Местом проведения этого испытания был выбран густо залесённый район. На протяжении испытания шли сильные



▲ *Рис. 2. Полевой тестер контроля качества iX1 и фото мест проведения испытаний.*

дожди. Ноды Quantum сначала были расставлены на поверхности, а затем закопаны в песчаный грунт на глубину до 60 см. Во время тестирования статус нодов Quantum отслеживался с помощью полевого тестера контроля качества iX1. И в этот раз ноды Quantum ни разу не теряли синхронизацию со спутниками GPS и без проблем регистрировали данные под дождем и погребенные под слоем песка.

Одиночный геофон QUANTUM в сравнении с группой геофонов

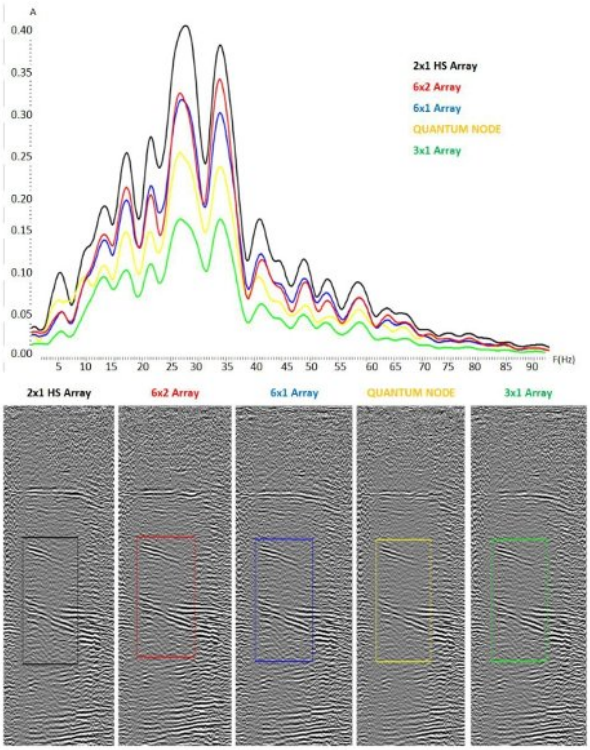
Следующий тест проводился в районе Южного Урала. Целью этого теста было сравнение данных, полученных от нескольких различных групп геофонов с данными от одиночного датчика Quantum. Нод Quantum производится с высокочувствительным геофоном с частотой 5 Гц или 10 Гц. Для этого теста использовались ноды Quantum с высокочувствительными 5 Гц геофонами. Один датчик Quantum дает существенное преимущество в полевых условиях по сравнению с группой геофонов, увеличивающей общий вес системы и требующей больших трудовых ресурсов для развертывания. При сопоставимом качестве данных, один нод Quantum, который весит всего 650 граммов, будет иметь несомненное преимущество.

Всего было развернуто 480 нодов Quantum параллельно с линиями с группами геофонов в различной конфигурации, которые были подключены к кабельной системе регистрации данных. Расстояние между приемниками Quantum составляло 12,5 метра. 121 ПВ был отработан взрывным источником. Данные были записаны и обработаны.

Результаты показали, что частотный состав геофона нода Quantum и геофонов в группах сопоставим. Амплитуды сигналов были различные в соответствии с количеством геофонов в группах и чувствительностью. Графики амплитудно-частотной характеристики и первичные суммирования для всех протестированных геофонов показаны на Рис. 3.

Максимальное использование возможностей системы

Система Quantum была развернута в дополнительном проекте, включающем горные районы, реки, деревни и города, чередующиеся с районами с густой растительностью и лесами. На этой



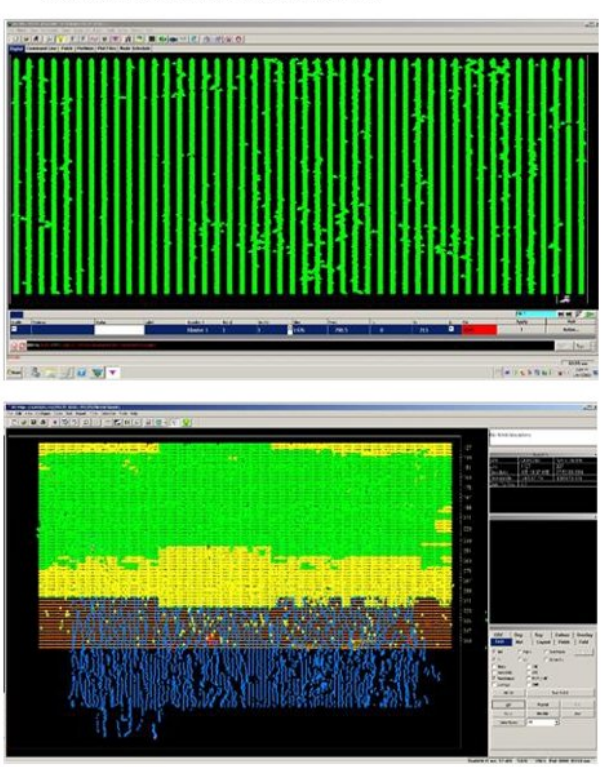
▲ *Рис. 3. Графики амплитудно-частотной характеристики и первичные суммирования.*

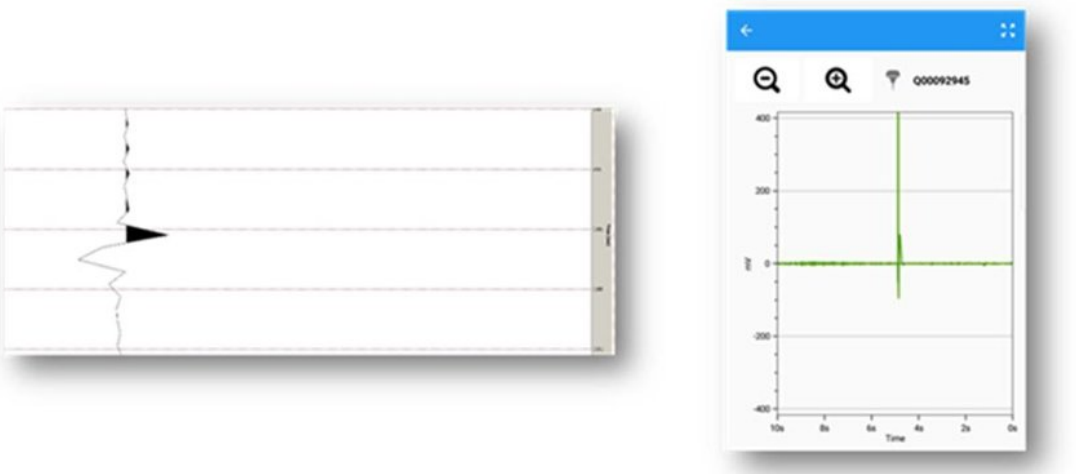
территории проект съемки включал более 74 000 ПП и более 12 000 ПВ, покрывающих рабочую площадь проекта 473 км2. Работы со взрывными источниками производились исключительно из-за ограниченного доступа для виброисточников.

Система iX1 использовалась на проекте вместе с более чем 29 000 нодами Quantum. Система iX1 включала в себя регистрирующий компьютер для сбора статусов контроля качества нодов, предоставляя полную картину развернутых станций вместе с результатами контроля качества по каждой станции. Кроме того, для одновременной загрузки данных и зарядки аккумуляторов использовались компьютер транскрипции и стойки загрузки/зарядки нодов Quantum. Группы взрывников были оснащены системами синхронизации источников INOVA Shot Pro.

Для сбора детализированной информации о статусе приемника в поле использовались тестеры полевого контроля качества, работающие с приложением iX1 Quantum QC. Тестеры контроля качества были оснащены функцией беспроводной сотовой связи, которая позволяла передавать информацию о статусе в полевых условиях по существующей сотовой сети на центральный компьютер сбора данных iX1. Это сделало процесс сбора информации контроля качества намного более эффективным, чем просто физическая доставка информации контроля качества с поля на центральный компьютер. На центральном компьютере с программным обеспечением iX1, оператором были установлены цветовые коды градации для конкретных параметров контроля качества. Результаты отображены на карте, представляющей статус полной расстановки приемников, как показано на Рис. 4.

▼ *Рис. 4. картина карты iX1 контроля качества Quantum нодов*





▲ *Рис. 5. iX1 монитор в реальном времени контроля качества отметок момента ПВ .*

Для максимальной производительности блоки Shot Pro работали в автономном режиме. Этот метод исключает необходимость радиосвязи между инкодером сейсмостанции и декодерами в поле, тем самым устранив потенциальные проблемы с радиосвязью, которые могли бы затормозить производственные работы, что стало бы особой проблемой, учитывая рельеф местности проекта. Тестеры контроля качества с соответствующим приложением iX1 также использовались для проверки отметки момента декодеров Shot Pro с использованием функции отображения трассы в реальном времени и нодов Quantum (рис. 5). Отметки момента для каждой группы ПВ записывались и сравнивались друг с другом, чтобы убедиться, что все возбуждения были произведены в корректное время. Этот метод обеспечил контроль отметок момента всех ПВ без радиосвязи с инкодером в станционном компьютере iX1, просто пользуясь функциями, встроенными в систему Quantum.

Характеристики и возможности нодов Quantum и системы сбора данных iX1 предоставили подрядчику возможность получения максимальной выгоды. В результате проект площадью 473 км2 был полностью завершен за 36 дней, включая мобилизацию оборудования, развертывание, отстрел, сбор данных и демобилизацию. Производственные работы были завершены за 23 дня от установки первого нода Quantum до сбора последних данных.

Заключение

Хотя здесь было представлено лишь несколько примеров, Quantum вместе с системой iX1 интенсивно использовались в поле, доказывая свою надежность в самых жестких условиях эксплуатации. Развертывание как на малых, так и на весьма крупных сейсмических проектах продемонстрировало способность Quantum работать как полнофункциональная сейсмическая нодальная система. Функции системы нацелены на простоту и эффективность работы в полевых условиях, обеспечивая идеальный баланс между низкой стоимостью и высокой производительностью.

INOVA®

Поднимая планку для широкополосной вибросейсмики

AVH-TITAN был разработан для увеличения выходного усилия на низких частотах и сохранения производительности при работе в широком диапазоне частот.
TITAN использует увеличенную длину хода поршня и модернизированную гидравлическую систему, чтобы обеспечить увеличенное почти в два раза усилие на низких частотах по сравнению с обычными вибросейсмическими источниками.



- Пиковое усилие до 80 000 фунтов
- Частотный диапазон 1–130 Гц
- Увеличенное в два раза усилие на низких частотах по сравнению с обычными вибросейсмическими источниками
- Выход на полную мощность – 4,2 Гц

AHV-V TITAN

Расширяя возможности - о задаче внедрения бескабельных систем в производственные работы ТНГ-Групп

Мустафин И. Р., Будяк А. В., ТНГ-Групп

Преимущества и недостатки бескабельного оборудования описаны многократно. Нодальное оборудование легко в работе и расстановке, его можно поставить в труднодоступных местах, поставить быстро и с минимумом трудовых ресурсов. Использование бескабельных технологий позволяет также минимизировать воздействие на окружающую среду – и по рубке леса, и по потравам землепользователям. У некоторого типа бескабельного оборудования расширяется частотный диапазон записи относительно стандартных сейсмоприемников GS-20DX.

Про недостатки «слепых» нодов сказано тоже много. Причем, первый недостаток неочевиден – вопреки заявлениям производителей, оно пока не дешевле кабельных систем последнего поколения, не говоря уже о сравнении с ценой кабельного оборудования на вторичном рынке. А дальше: невозможность он-лайн контроля записи, невозможность оперативно получать информацию о работоспособности блока, «плывущая» отметка времени в случае потери связи со спутниками. Серьезным ограничением для внедрения таких систем становится риск потери оборудования – либо по прошествии времени не могут найти «погребенный» под снегом прибор, либо жители окрестных деревень утащат «красивую и непривязанную» игрушку.

Но это оборудование есть, его активно развивают и продвигают практически все производители. А значит, перспективы его использования и целесообразность развития технологии видятся высоко. Примеряют такое оборудования для работы многие геофизические организации.

Оценивает целесообразность и перспективы внедрения нодальных систем в линейку своих возможностей и компания ТНГ-Групп.

Зачем создаются нодальные системы?

В статье Стива Уилкокса [1] приводится сравнение существующих сегодня на рынке бескабельных систем. Обзор оставляет за рамками таблицы существующие отечественные разработки: SCOUT, «Барс», «Открытие».

Несмотря на то, что представленная выборка не охватывает весь спектр автономных сейсморегистрирующих систем, она достаточно презентативна, чтобы показать их разнообразие. Отметим, что автор пишет о свершившейся бескабельной революции в Северной Америке, где практически все сейсмические работы уже ведутся по бескабельным технологиям. Плюсы бескабельных технологий, о которых написано выше, вдохновляют производителей, в ожидании прорыва и на других географических рынках. И проблему с внедрением нодов на рынок СНГ автор видит лишь в консерватизме заказчиков.

Действительно, это реальность рынка, на котором работает ТНГ-Групп. С одной стороны, ожидание революционных изменений в технологиях сейсморазведки, позволяющие снизить стоимость и повысить информативность со стороны заказчиков, а с другой стороны – опасения использования «слепых» систем практически всеми ними. С точки зрения современных требований к контролю качества, потеря даже одного канала может стать критической. И все заказчики хотят видеть ежедневный контроль

Производитель нода	Тип датчика	Вес	Автономная работа	Отн. автономия/ вес	Автономный QC ("at the box")	Удаленный QC	Данные в реальном времени
DTCC SmartSolo IGU-16(HR)	5Гц или 10Гц геофон	1000 г	600 ч.	0.60	✗	✗	✗
GTI NuSeis NRU 1C	5Гц или 10Гц геофон	690 г	600 ч.	0.87	✓	✗	✗
Inova Quantum	5Гц или 10Гц геофон	650 г	1200 ч.	1.84	✓	✗	✗
Geospace GCL	5Гц или 10Гц геофон	1180 г	1440 ч.	1.22	✓	✗	✗
Sercel WiNG DFU	MEMS-акселерометр	830 г	1200 ч.	1.45	✓	✓	✗
Wireless Seismic RT3	Геофон	1000 г	648 ч.	0.65	✗	✓	✓
Stryde /BP Nimble node	Пьезо-акселерометр	150 г	672 ч.	4.48	✗	✗	✗

▲ *Табл. 1 [1].*

получаемой информации по шумам, частотам, интенсивности сигнала и т.д. на соответствие выданному заданию на регистрацию.

Опыт тестирования бескабельных телеметрических систем в ТНГ-Групп.

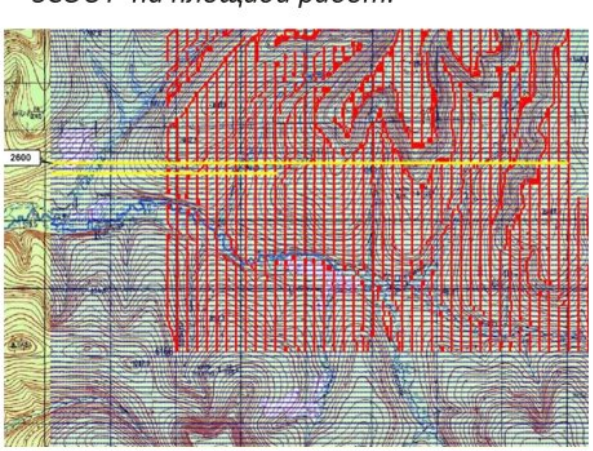
Задача включить в линейку сейсмического оборудования ТНГ бескабельные технологии стоит в ТНГ-Групп уже не один год. В ситуации жесткой конкуренции мы не можем не рассматривать производственные возможности, повышающих экономическую эффективность. А значит, в нашем арсенале обязательно должны появиться нодальные системы в количестве, достаточном для полноценных производственных работ. Для этого выполнено несколько тестов различных бескабельных полевых систем.

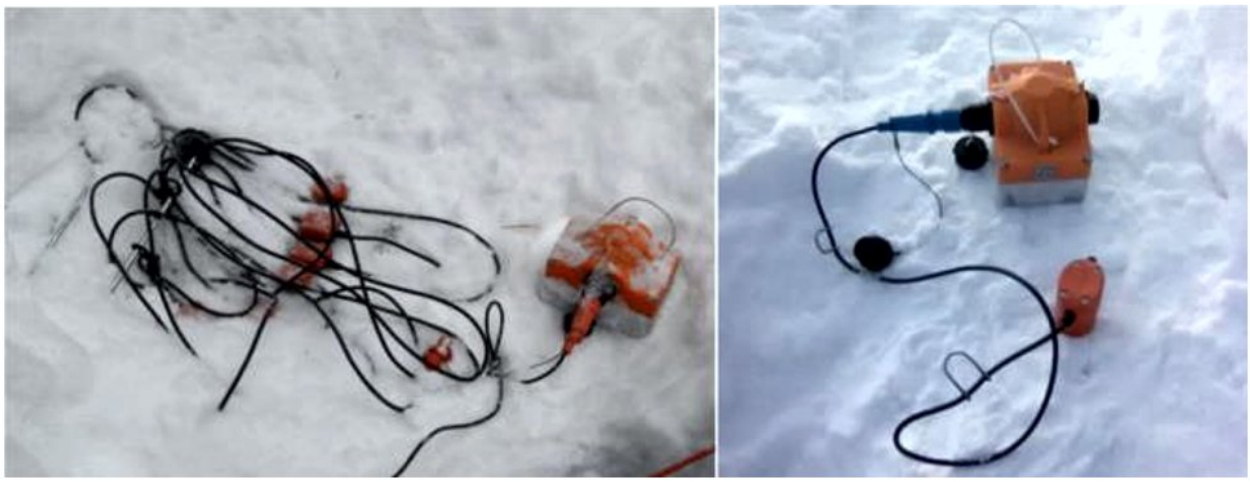
SCOUT (СКБ СП, Саратов) 2017

Тестовые работы были проведены в производственном режиме в условиях пересеченной местности Хандинского лицензионного участка. Работы были проведены в период с 06.11.16 по 15.01.17г. силами двух сейсморазведочных партиях №24 и №25 ООО «ТНГ-Ленское» на территории Жигаловского и Казачинско-ленского муниципальных районов Иркутской области, в 150 км северо-восточнее п. Жигалово. Основная задача ставилась в определении надежности отечественного оборудования и возможности комбинирования с имеющимися кабельными системами.

Тестирование показало возможность применения бескабельной системы «SCOUT» совместно с кабельной телеметрической системой «Sercel» в районах, осложненных орогидрографическими условиями, а также техногенными факторами (ж. д., автодороги, населенные пункты и т.д.).

▼ *Рис.1. Расположение оборудования SCOUT на площади работ.*





▲ *Рис.2. Использование блоков SCOUT стандартными группами GS-20DX и одиночными приборами GS-ONE.*

Обязательными условиями применения этой системы являются:

• Изменение методики работ для исключения рисков снижения качества материала из-за потерь и отказов оборудования - двойное уплотнение сети наблюдений;

• Изменение подходов к оценке качества получаемого материала и требований к ним;

• Дополнительные требования к тестированию работоспособности полевого оборудования.

Преимущества бескабельного оборудования:

• Мобильность системы;

• Отсутствие затрат времени на наладку оборудования и как следствие увеличение производительности регистрации ф.н.;

• Удобство применения в сложных орогидрографических условиях (требуется дополнительное планирование точек установки приборов).

Недостатки:

• Отсутствие тестирования каналов в реальном времени;

• Отсутствие мониторинга качества материала в режиме on-line;

• Зависимость производительности регистрации от заряда батареи (не более 7 дней в активной расстановке, при использовании SCOUT 100%).

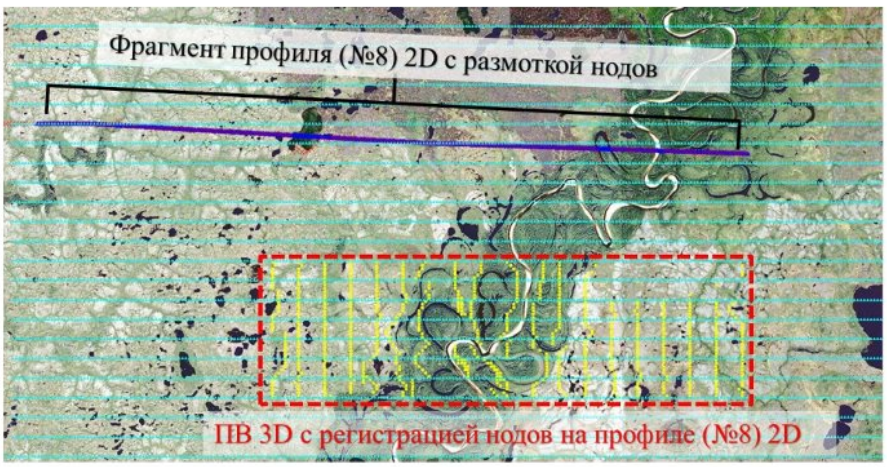
• Необходим большой запас оборудования (2-х кратный) для компенсации возможных потерь сейсмических каналов по разным причинам;

• Частичное скачивание информации создает не полную картину о качестве сейсмической информации.

▼ *Табл. 2.*

Прогноз трудозатрат

Вид работ	Персонал			Техника		
	Sercel	Scout	Экономия, %	Sercel	Scout	Экономия, %
Размотка сейсмооборудования; 14000 каналов	140 бр./смен	94 бр./смен	30	10шт	10шт	0
Наладка оборудования 16000 каналов	12 бр./сутки	0 бр./сутки	100	12	0	100
Переброска 1200 каналов	12 бр./сутки	10 бр./сутки	15	12	10	15
Состав с/отряда	120 чел	80 чел	35	23шт	13шт	



◀ *Рис.3. Опытные работы с оборудованием e-Нод.*

Тестирование приборов eNode в 2021 г.

Работы выполнялись в сезоне 20/21 параллельно производственным работам в условиях Западной Сибири.

Задачи опытных работ:

• Тестирование работоспособности (идентичность, достаточность питания, надежность в сохранении данных при регистрации в производственном режиме);

• Оценка производственного потенциала (удобство в использовании, хронометраж раскладки и сбора, требуемые ресурсы);

• Оценка качества получаемых данных (качественная и количественная оценка исходных записей и временного разреза).

Оценка п*роизводственного потенциала:*

• Для раскладки и подбора с «традиционными» системами наблюдений требуется меньшее количество персонала и менее габаритная техника. Однако ввиду отсутствия положительных эффектов группирования требуется уплотнение (большее количество оборудования);

• Отсутствует канал обратной связи (нод – работник), что усложняет поиск оборудования в процессе подмотки. Было потеряно 4 нода из 437 разложенных на профиле скорее из-за того, что сотрудники (водители, взрывники и др) привыкли работать с проводным оборудованием (нужны дополнительные инструктажи).

• Требуется пересмотр производственных процессов раскладки/подбора, количества оборудования для ротации и распределения обязанностей персонала

Оценка качества получаемых данных:

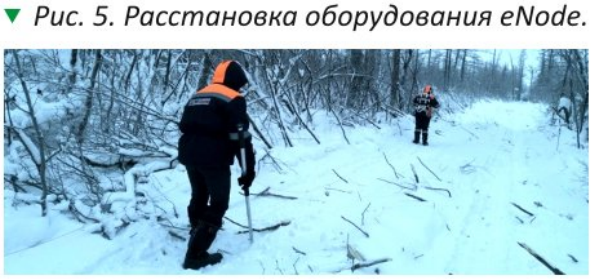
• Неоднозначность забраковки данных по внутренним тестам;

• На данных с нодов присутствует более интенсивная низкочастотная составляющая.

▼ *Рис. 4. Тест на идентичность оборудования eNode на базе партии.*



▼ *Рис. 5. Расстановка оборудования eNode.*



• Данные (исходные и суммарные) записанные нодами характеризуются меньшим (по сравнению с размотанной группой GS-20DX) соотношением сигнал/помеха, повышенным уровнем шумов и как следствие динамической выразительностью отражающих горизонтов.

Возможно данный факт связан с отсутствием положительных эффектов группирования. Увеличение плотности наблюдений с нодальной системой поможет минимизировать данный недостаток.

Нодальная система eNode работоспособна и может быть рекомендована для проведения полевых сейсморазведочных работ.

RT System2 2018-2020

Вот уже три зимних полевых сезона компания ООО «ТНГ-Групп» для регистрации сейсмических данных задействует беспроводную систему сбора сейсмических данных RT System2. За этот период выполнено более 1615 квадратных километров на разных площадях в Западной Сибири, в том числе и по технологии «Зеленая сейсмика ©».

▼ *Рис.6. Подготовка оборудования RT-2 к производственным работам на базе ТНГ-Групп*



Оборудование показало свою высокую надежность и работоспособность. Однако, несмотря на уникальную возможность работы с бескабельным оборудованием в режиме реального времени, структура партии и технология съемки принципиально не уменьшилась.

Неоспоримый плюс сокращение времени наладки из-за минимизации кабельных соединений

В настоящий момент ООО «ТНГ-Групп» и Wireless Seismic проводит совместные мероприятия по исключению недостатков выявленных в процессе эксплуатации, в частности:

- замена неисправных разъемов на антеннах,
- замена неисправных GPS-антенн,
- проверка герметичность блоков,
- доработка ПО сейсмостанции для ускорения его работы,
- устранение причин проблем с переключением между режимами работы WRU (выход из режима «sleep»).

Данные мероприятия должны повысить работоспособность и эффективность работы оборудования.

Смар Соло 2021

В 2021 году планируется тестирование оборудования Smart Solo компании DTCC на нескольких площадях. Оборудование предоставлено в достаточном количестве, чтобы набрать необходимую статистику и определить перспективы дальнейшего применения нодальных автономных систем.

Целевое назначение работ

• Тестирование работоспособности (идентичность, достаточность питания, устойчивость сигнала gps, точность позиционирования, надежность в сохранении данных при регистрации в производственном режиме);

• Оценка производственного потенциала (удобство в использовании, хронометраж раскладки и сбора, скорость считывания данных, требуемые ресурсы);

• Оценка качества получаемых данных (качественная и количественная оценка исходных записей и временного разреза).

Задачи:

• Раскладка на участке профиля 2D датчиков SmartSolo с шагом 1.25м, 4988 датчиков, длина профиля по ПП 6233.75м, хронометраж раскладки, подсчет трудозатрат. Раскладка оборудование sercel 428XL + 12-ти приборные группы геофонов GS-20DX (на базе 25м) с шагом ПП =50м, всего 124 ПП. Сравнение с используемым на проекте оборудованием, отзывы работников.

• Регистрация в режиме сейсмомониторинга. На базе партии, в ее окрестности выбирается 2 полигона (патча) для мониторинга. В пределах каждого патча устанавливается по 100 нодов SmartSolo по сети 1х1м. Конфигурация патча уточняется. Считывание данных и формирование сводной сейсмограммы производится через две недели работы.

• Оценка емкости памяти и работоспособности батарей – 200 датчиков остаются в активном состоянии в течении 2 месяцев. По результатам анализа фиксируется время работоспособности оборудования.

▼ *Рис. 7. Подготовка патчевой системы на 100 каналов SmartSolo на базе партии.*



▼ *Рис. 8. Тест на идентичность оборудования SmartSolo. Март 2021 года.*



Как мы будем работать завтра

Тестирование бескабельных систем показывает, что практически все системы работоспособны и позволяют расширить диапазон технологических решений, предлагаемых заказчику. Исходя из проведенных тестов мы готовы предложить следующие варианты использования данного оборудования нашим заказчикам.

Использование 100% бескабельных технологий действительно позволяет снизить относительную стоимость сейсмических наблюдений. Стоимость одной точки ОГТ, если можно в таком разрезе говорить об экономике сейсморазведки. Вот только плотность съемки и общее количество точек ОГТ на бескабельных проектах должно повышаться, как минимум вдвое, а то и втрое, что нивелирует экономический эффект. Так что снижение стоимости на таких проектах не станет революционным для заказчика. Но при этом материал получится более качественным и информативным, так как серьезно увеличивается крат-

ность наблюдения. На таких съемках необходим двойной комплект бескабельной телеметрии относительно стандартных съемок – 16-30 тыс каналов.

Совмещение на одной съемке кабельных и бескабельных систем позволит увеличить технологичность работы. Бескабельные каналы в общем объеме 10-20% от имеющегося оборудования действительно могут облегчить отработку эксклюзивных зон – пойменные, заболоченные и сильно залесенные участки, труднодоступные места, отдельные поля с особенно дорогими потравами. В партии необходимо 2-3 тысячи каналов с идентичными стандартным каналам типом сейсмоприемников.

Комбинированные съемки с процентом использования бескабельных каналов относительно кабельных систем от 50 до 80% от общего количества каналов. На таких работах контроль шумовых составляющих ведется он-лайн по кабельным системам, а основной массив сейсмоданных получается по бескабельному каналу. Такие проекты позволят снизить общую стоимость сейсморабот, однако, их реализация, как и реализация всех иных модификаций бескабельных систем зависит от готовности заказчика к выдаче задания на регистрацию с учетом специфики «слепых» технологий.

Работа бескабельными системами без он-лайн контроля, при гарантированной надежности оборудования, заявляемой производителями и проверенной нами на практике действительно расширит диапазон наших технологических возможностей, давая возможность работать дешевле при одновременном повышении качества сейсморазведочных услуг компании ТНГ-Групп.

Литература:

1. Стив Уилкокс (Sercel) - Чего ожидать в сегменте наземных нодальных систем? - FIRST BREAK, том 38, январь 2020 г.;

2. Абдулвалиев М. Т., Тиссен А.П., Череповский А. В., - Контроль качества в современных бескабельных Регистрирующих системах – Приборы и системы разведочной геофизики, №1, 2020;

3. Кузьмичев В. Е., Ермаков С. А., - RT-System 2 – контроль качества без проводов и в режиме реального времени. – Приборы и Системы разведочной геофизики, №3,2020

Подробнее об авторах



Мустафин И. Р.

Заместитель генерального директора – директор по разведочной геофизике ТНГ-Групп



Будяк А. В.

Главный геофизик производственного отдела разведочной геофизики ТНГ-Групп

Высокопроизводительные сейсморазведочные работы МОГТ 3D с комбинированным регистрирующим оборудованием

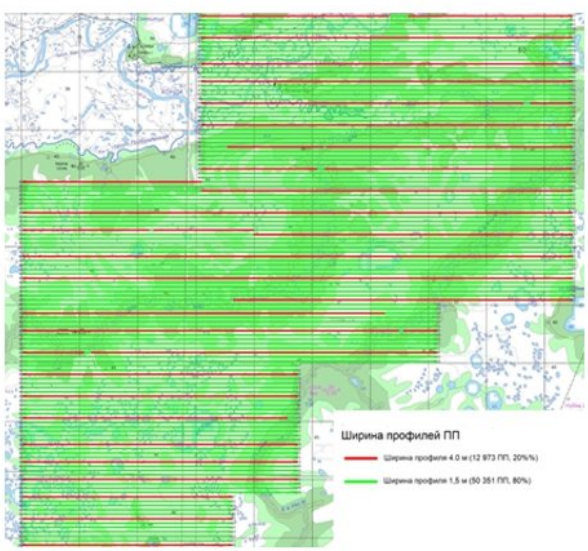
Романов А.И., Хухарев А.О., ПАО «ГЕОТЕК Сейсморазведка»

В статье описаны результаты высокопроизводительных работ МОГТ 3D по экологосберегающей технологии «Зеленая сейсмика ©», разработанной ПАО «Газпром нефть». Применялось комбинированное регистрирующее оборудование, основную долю которого составляла бескабельная система WTU-508. В сложных поверхностных условиях Тюменской области за один зимний полевой сезон 2020-21 гг. были успешно выполнены работы на площади 472 кв.км. Использование бескабельного оборудования позволило повысить производительность сейсмоотряда на 25%, а качество данных, полученных с применением бескабельной телеметрии, оказалось выше, чем с кабельным оборудованием, ввиду значительно меньшего количества нерабочих каналов. Опробовано скачивание сейсмических данных и передача «статусов» (параметров функционирования) бескабельных модулей с помощью мультикоптеров.

Неуклонно растет интерес мировой сейсморазведки к бескабельным системам регистрации данных. Передовиком этого направления в России можно считать ПАО «Газпром нефть», уже перешедшее от стадии опытно-методических работ (ОМР) к производственным съемкам. Причем, с учетом специфики районов проведения работ, применение бескабельных систем на лицензионных участках компании творчески сочетается с еще одним новаторским направлением развития современной полевой сейсморазведки - технологией «Зеленая сейсмика ©».

В течение зимнего полевого сезона 2020-2021 гг. сейсморазведочной партией №2 филиала ПАО «ГЕОТЕК Сейсморазведка»-«Тюменнефтегеофизика» были выполнены работы МОГТ 3D в объеме 472 км2 / 32274 ПВ. Площадь работ располагалась в Кондинском районе ХМАО Тюменской области и имела сложные поверхностные условия с преобладанием болот, озер и заболоченных участков, а также залесенностью в пойменной зоне.

ПАО «ГЕОТЕК Сейсморазведка» на протяжении трех лет выполняет проекты по экологосберегающей технологии с использованием как проводного, так и бескабельного сейсморегистрирующего оборудования.



▲ *Рис. 1. Ширина просек на площади работ.*

Технология «Зеленая сейсмика ©» минимизирует воздействие на природу, в частности – сокращает объемы рубки леса за счет уменьшения ширины просек. Так, на проекте просеки шириной 4 м рубились для линий возбуждения и только для каждой пятой линии приема, а остальные линии приема были шириной 1,5 м (Рис.1).

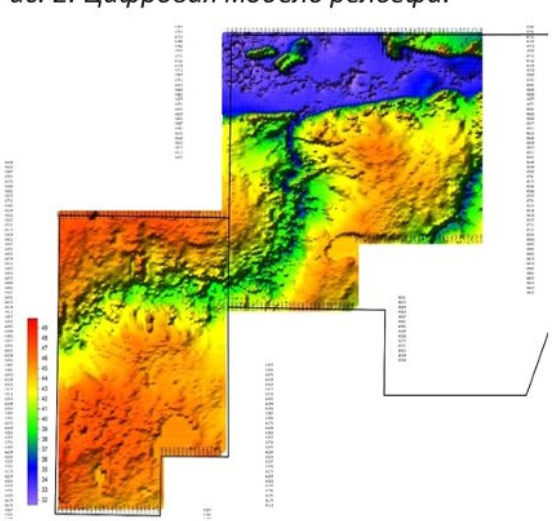
На указанной площади применялись беспилотные летательные аппараты (БПЛА), для рекогносцировки и скачивания данных с бескабельного оборудования.

На стадии проектирования было выполнено воздушное лазерное сканирование (ВЛС) и цифровая аэрофотосъемка (ЦАФС) площади будущих работ.

ЦАФС выполнялась с определением элементов внешнего ориентирования с разрешением цифрового фотоизображения местности и перекрытиями маршрутов, достаточными для уточнения опасных и непроходимых для техники участков, зон техногена и корректировки проектной схемы ПГН с получением всех видов разрешений до начала производственных работ.

Полученная плотность точек лазерных отражений ВЛС участка работ уверенно обеспечила создание цифрового ортофотоплана (ЦОФП) масштаба 1:5000. По материалам ВЛС была подготовлена цифровая модель рельефа, сформированная по характерным точкам лазерных отражений, разделенных на классы «земная поверхность» и «выше земной поверхности» (Рис. 2). Точность определения альтитуд точек класса «земная поверхность» была достаточной для создания регулярной модели рельефа (GRID), позволившей сократить время измерений при последующих наземных геодезических работах, повысив их производительность.

▼ *Рис. 2. Цифровая модель рельефа.*



На проекте преимущественно использовалось бескабельное оборудование WTU-508 и проводное оборудование 428XL производства компании SERCEL (Рис.3). Для регистрации сейсмических данных использовались двухприборные группы геофонов с собственной частотой 5 Гц и суммарной чувствительностью 160 В/(м/с).

Количество используемого на проекте оборудования составляло: проводное - 1935 каналов, бескабельное – 8752 каналов.



▲ *Рис. 3. Проводное оборудование Sercel 428 и бескабельные модули WTU-508.*

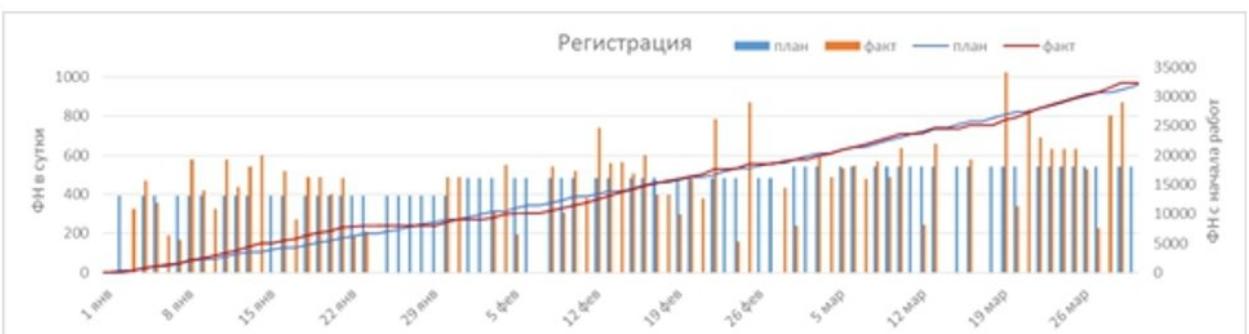
Методика характеризовалась следующими основными параметрами:

- центрально-симметричная система наблюдения,
- количество приемных линий – 24;
- количество каналов в линии – 144;
- расстояние между ПП – 50 м, ЛПП – 300 м, ПВ – 50 м, ЛПВ – 300 м;
- максимальное удаление ПВ-ПП - 5056 м;
- номинальная кратность наблюдений – 144;
- возбуждение упругих колебаний - наиболее эффективным по опыту работ в этом районе способом – взрывами в одиночных скважинах.

Полевые работы начались в декабре 2020 г., а непосредственно регистрация началась 3 января 2021 г. Для завершения работ до весенней оттепели расчет-



▲ *Рис. 4. Погодные условия в течение регистрации.*



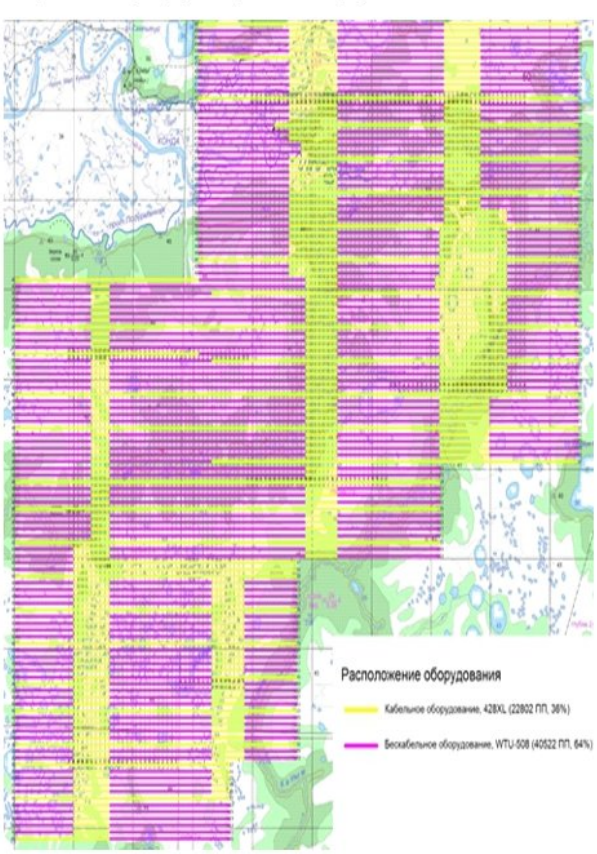
▲ *Рис. 5 .Производительность регистрации.*

ная среднесуточная производительность составляла 475 ФН/день при 68 днях регистрации. Фактически в зависимости от погодных условий (рис.4) производительность по регистрации варьировалась от 160 до 1025 ФН/день (рис.5) и в среднем составила 489 ФН/день при 66 днях регистрации.

Схема расстановки оборудования представлена на рисунке 6. Количество установленного бескабельного оборудования составило 64% от всего количества ПП.

Проводное оборудование было минимизировано, исходя из идеологии использования, помимо рабочей регистрации данных, для мониторинга уровня шумов и помех в реальном времени, а также для экспресс-оценки качества сейсмоданных. Модули WTU передавали статусы работоспособности на сейсмостанцию в реальном времени с задержкой

▼ *Рис. 6. Схема распределения регистрирующего оборудования..*



15-40 минут для самых дальних каналов. В статусах содержалась информация о рабочих параметрах сейсмоприемников (угол наклона, сопротивление, утечка, шум) и о заряде аккумулятора модуля WTU. Перед регистрацией и в процессе отстрела геофизик-оператор постоянно осуществлял мониторинг проводного и бескабельного оборудования.

Производительность сейсмоотряда

Установка напольного оборудования осуществились как с использованием техники (по просекам линий приема шириной 4м), так и без нее (на просеках линий приема шириной 1.5 м - «ручная» размотка). «Ручная» размотка предполагала доставку оборудования на технике до пересечения с «узкой» приемной линией, а далее в - пешем порядке по просекам шириной 1,5м, где не всегда можно проехать даже на снегоходе. С целью оптимизации кабельное оборудование раскладывали, в основном, по 4-х метровым просекам, а бескабельное - по просекам шириной 1,5м и в трудно доступных местах.

В результате достигалась высокая валовая суточная производительность сейсмоотряда в целом, и следует отметить, что установка бескабельного оборудования шла на 25% быстрее, чем кабельного.

Таким образом удалось оптимально сбалансировать следующие показатели:

- качество сейсмических данных;
- затраты времени на установку сейсмоприемников;
- количество задействованного персонала в смене.

Наладка сейсмооборудования на профилях заключалась, в основном, в замене аккумуляторов и устранении обрывов проводного оборудования. Бескабельные модули за весь период



▲ *Рис. 7. Размотка кабельного оборудования.*

работ практически не потребовали полевой наладки после установки и надежно функционировали весь период (10-20 дней) нахождения в рабочей расстановке.

При этом следует отметить, что при температуре ниже -42°С в течении длительного времени (более двух суток) происходил ускоренный разряд внутренних батарей WTU-508. Однако наладка успевала произвести замену в дневное время.

Таким образом, компактность бескабельного оборудования WTU-508 однозначно способствовала значительному сокращению трудозатрат при смотке-размотке и наладке рабочей расстановки по сравнению с кабельной системой.

Недостатком данного типа оборудования с точки зрения формального выполнения современных нормативных требований является отсутствие возможности оперативной визуализации результатов регистрации сейсмических данных, т.к. получить полную картину сейсмической записи возможно только после скачивания информации с блока WTU-508.



▲ *Рис. 8. БПЛА с планшетом для скачивания данных.*

Скачивание сейсмических данных с нодальных систем с применением БПЛА.

На протяжении предыдущих трех полевых сезонов проблема визуальной оценкой первичного материала решалась использованием комбинированной расстановки WTU-508 и 428XL. В сезоне 2020-2021 гг. с целью оперативного получения первичных данных с WTU-508 в полном объеме впервые были использованы БПЛА.

На БПЛА был установлен специальный планшет «Data Harvester» для скачивания данных (рис.8), которое происходило на высотах 50-70 метров над приемными линиями. По возвращении на базу планшет передавался для последующего скачивания с него данных в систему обработки и хранения (сервер Sercel 508).

Работа БПЛА была возможна при следующих условиях:

- Температура воздуха - не ниже -25 °C;
- Скорость ветра в эшелоне работ - не более 12 м/с;
- Скорость полета над линией наблюдения для участков с открытой и болотистой местностью - 5 м/с (18 км/ч) без зависаний;
- Скорость полета над линией наблюдения для участков с занесённой местностью - 3 м/с (10 км/ч) без зависаний.

Летная погода наблюдалась в течение 35 дней из 70. Всего было выполнено 82 полета, в ходе которых считаны данные с 8722 модулей WTU. Попутно была подтверждена возможность использования БПЛА для проверки работоспособности модулей на случай отсутствия связи.

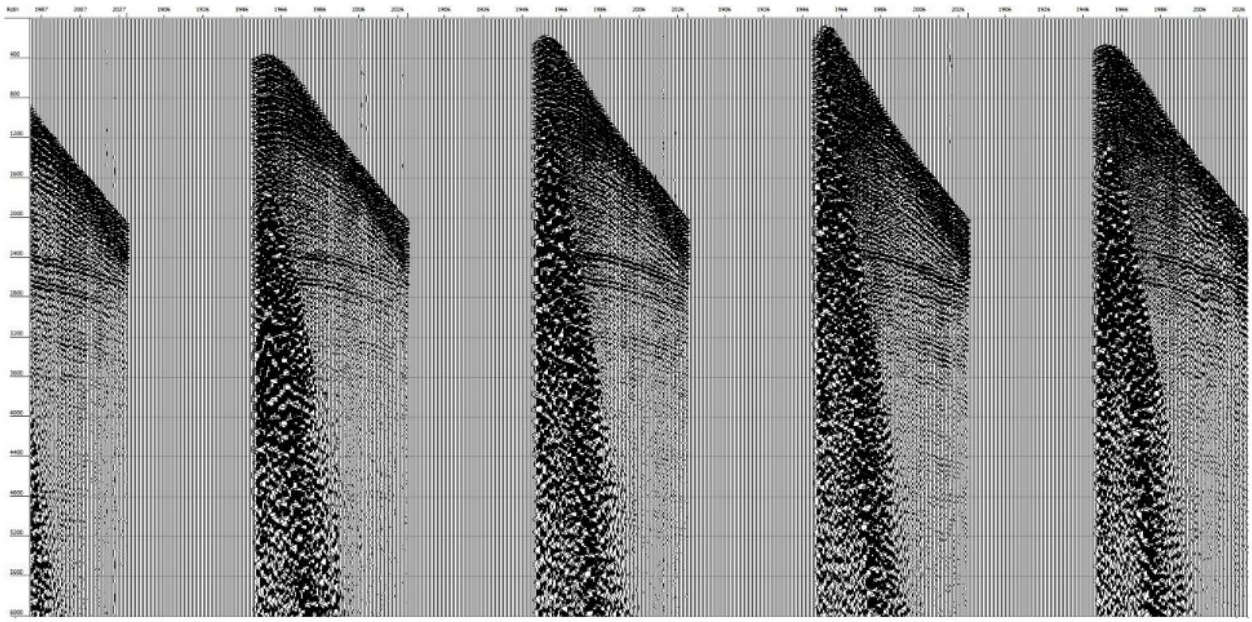
Качество данных

Оценка качества сейсмоданных осуществлялось в два этапа:

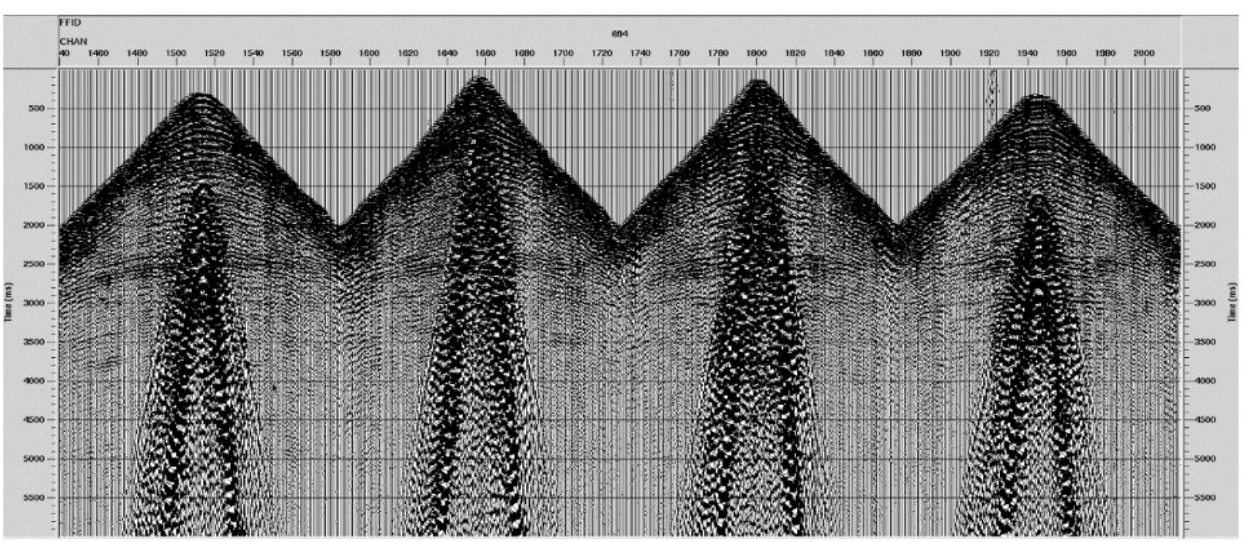
1. Экспресс анализ неполных сейсмограмм (рис.9) в течение трех часов после завершения смены регистрации с расчётом атрибутов по данным с кабельного оборудования и проверка статусов бескабельного оборудования;
2. Анализ полных сейсмограмм после компиляции данных (рис.10).

Первый этап являлся основным для принятия решения о приемке или забраковке физического наблюдения. После компиляции брак возможен из-за нерабочих трасс.

Особое внимание уделялось проверке работоспособности бескабельных модулей по статусам. Скачивание данных с модулей WTU-508 производилось на базе партии геофизиком службы контроля качества с проверкой полноты и корректности. Ежедневно данные скачивалась с 700-1200 WTU (рис.11). При наличии ранее полученных данных с помощью БПЛА время скачивания на базе партии сокращалось. Количество нерабочих трасс WTU составило 0,1% от их общего количества 71,32 млн. Количество нерабочих трасс проводного оборудования составило 0,17% от их общего количества 40,12 млн. Максимальное количество нерабочих трасс для одной сейсмограммы было 42, 1.2% от активной расстановки при допустимых

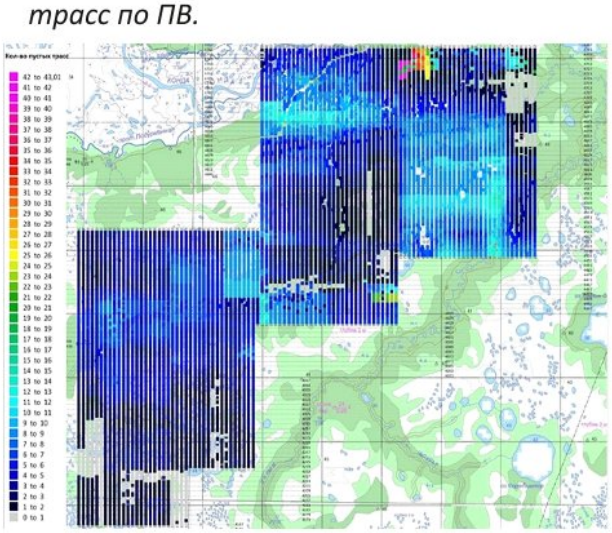


▲ *Рис. 9. Сейсмограмма до компиляции, пустые трассы – бескабельное оборудование.*



▲ *Рис. 10. Скомпилированная сейсмограмма.*

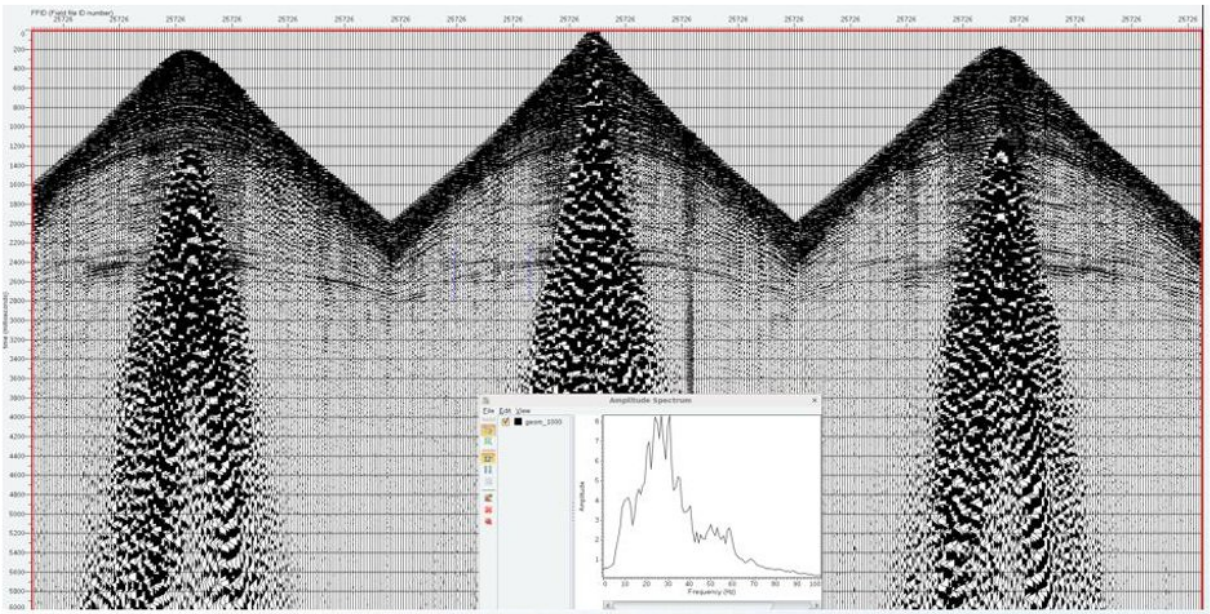
▼ *Рис. 11. Распределение нерабочих трасс по ПВ.*



2%. Нерабочие трассы, в основном, связаны с повреждениями оборудования транспортом.

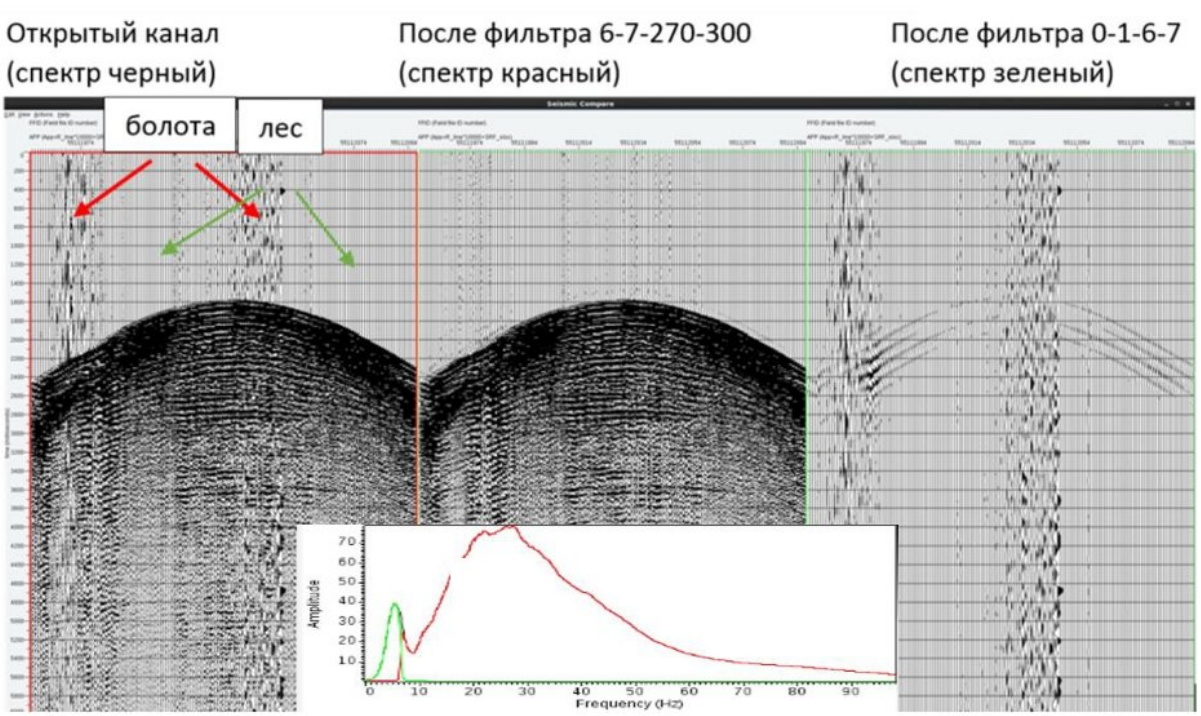
Применение точечной установки низкочастотных геофонов с высокой чувствительностью позволило зарегистрировать сигнал в более широком частотном диапазоне (рис.12), чем при использования стандартных 12-приборных групп геофонов с собственной частотой 10 Гц и суммарной чувствительностью 120 В/(м/с).

Но, помимо расширения спектра сигнала, также наблюдалось и расшире-



FFID	Номер профиля	Номер пикета	Fсигн	Амакс	Асигн	Аgr	S/N	S/Gr	H, м	Q, кг	Тв
25726	1575	4677	29.3	4.3	309.1	5932.0	71.1	0.10	18.0	0.5	31.6

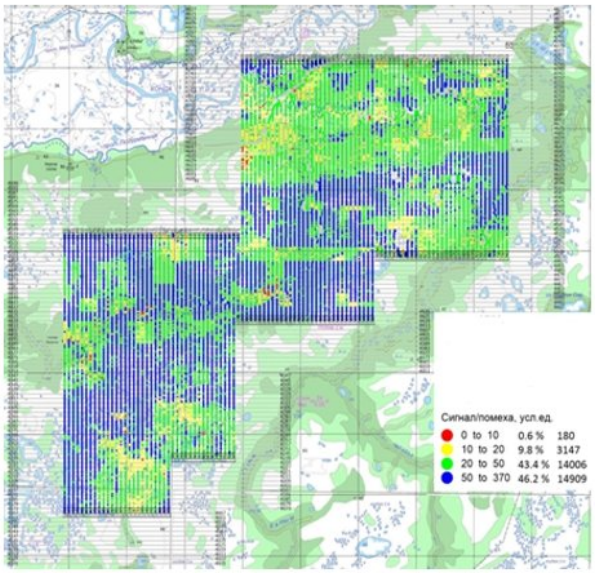
▲ *Рис. 12. Пример типичной сейсмограммы и спектр в окне сигнала вне конуса поверхностных помех.*



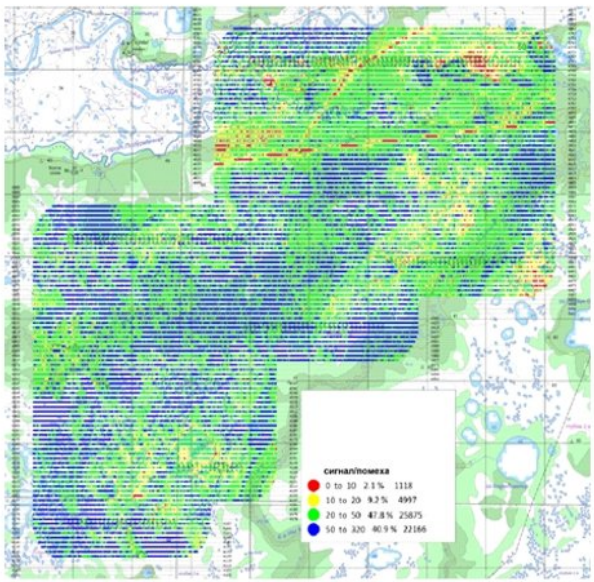
▲ *Рис. 13. Анализ шумов на болотах.*

ние спектра регистрируемых помех, как поверхностных волн, так и микросейсм. На производительность в значительной мере влияли ветровые помехи, уровень которых не должен был превышать 15-25мкВ (в зависимости от амплитуды сигнала). Даже при скорости ветра ~3-4 м/с, практически не ощущаемого в лесной зоне, на болотах регистрировались низкочастотные помехи (рис. 13).

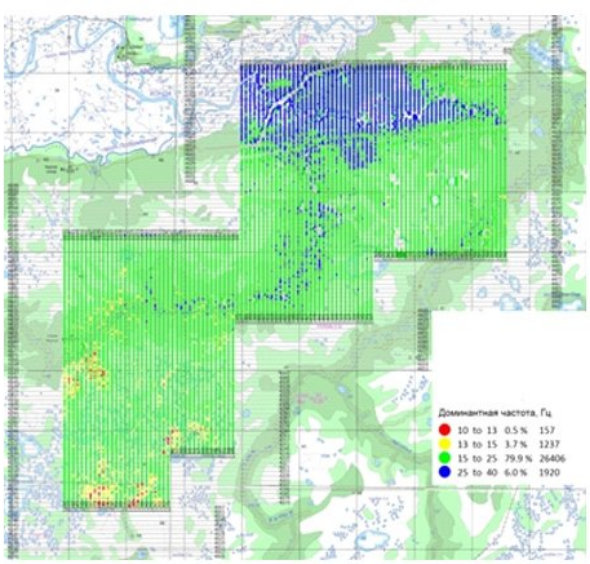
Площадное распределение традиционных параметров оценки полевого



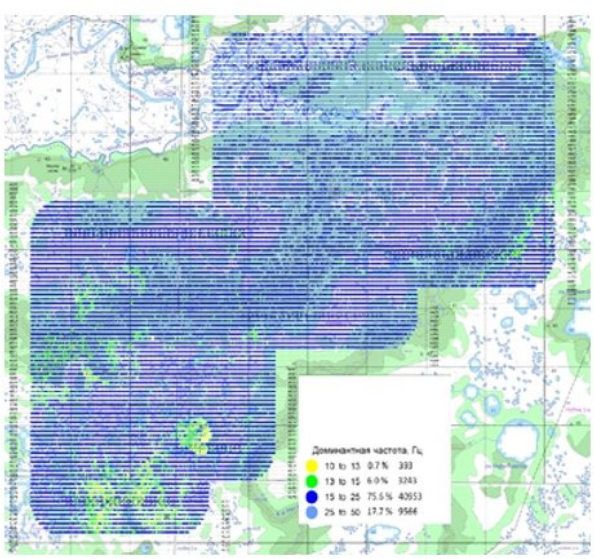
▲ *Рис. 14. Распределение соотношения сигнал/уровень микросейсм по ОПВ.*



▲ *Рис. 15. Распределение соотношения сигнал/уровень микросейсм по ОПП.*



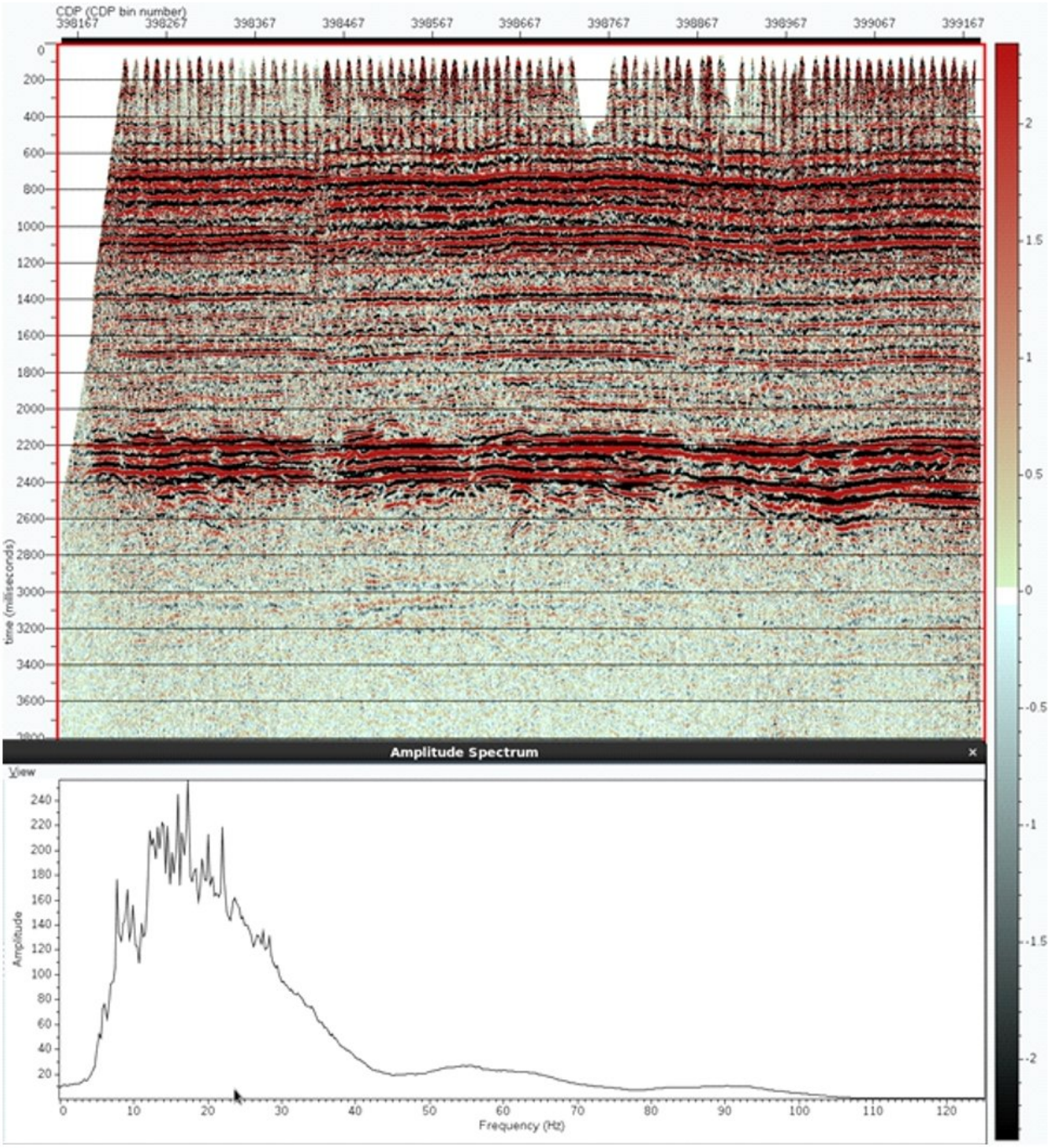
▲ *Рис. 14. Распределение соотношения сигнал/уровень микросейсм по ОПВ.*



▲ *Рис. 17. Доминантная частота по ОПП.*

материала: отношение сигнал/уровень микросейсм (рис.14, 15) и доминантная частота (рис.16,17) коррелируется с указанными геоморфологическими и орогидрографическими особенностями площади работ.

На Рис. 18 представлен типичный предварительный временной разрез, полученный в ходе экспресс-обработки непосредственно в партии по следующему графу: подавление поверхностных волн, поправка за сферическое расхождение, деконволюция, введение априорных статических и кинематических поправок, суммирование по ОГТ. Уверенно прослеживаются все целевые горизонты, характерной особенностью амплитудно-частотного спектра является наличие низкочастотной области со значительными амплитудными показателями.



▲ *Рис. 18. Предварительный временной разрез по ОГТ и его амплитудно-частотный спектр.*

Заключение

Использование бескабельного оборудования WTU-508 Sercel позволило повысить производительность сейсмоотряда на 25%, что способствовало ритмичному выполнению довольно большой производственной программы в крайне сжатые сроки сезона, характерные для района работ.

Качество данных, полученных с применением бескабельной телеметрии, оказалось выше, чем с проводной, ввиду значительно меньшего количества нерабочих каналов. Особо следует отметить, что критерии оценки качества полностью соответствовали традиционно применяемым для кабельного оборудования с перманентной визуализацией

результатов в режиме реального времени.

Конструкция применявшихся БПЛА требует серьезной доработки для обеспечения традиционной оперативной оценки качества. Что, очевидно, столь же серьезно скажется на их стоимости.

Авторы считают целесообразным рассмотреть вопрос подавления низкочастотных «болотных» помех на этапе камеральной обработки, что позволит увеличить производительность полевых работ за счет расширения «погодных окон» по ветровой помехе.

Также авторы считают, что выполнение съемок с указанными выше параметрами систем наблюдений в условиях действующих нормативных документов по оценке качества получаемого полевого материала не в полной мере раскрывает возможности «слепых» и «полуслепых» нодальных систем и ориентировано на неоправданное использование на каждом проекте, как минимум, 35% оборудования, обеспечивающего получение полного набора данных регистрации в режиме реального времени.

В целом же описанные выше работы можно считать очередным успешным опытом ПАО «Газпром нефть» и ПАО «ГЕОТЕК Сейсморазведка» производственного использования бескабельных систем при выполнении масштабных 3D съемок мирового уровня.

Авторы признательны ПАО «Газпром нефть» за предоставленную возможность опубликования данной статьи.

Литература

1. Горобцов Т.С., Харченко В.С., Харченко К.С. «Сейсморазведочные работы МОГТ 3D», отчет по полевым работам, Тюмень 2021.

2. Никитин А.С. «О результатах оказания услуг по скачиванию сейсмических данных с нодальных систем с применением беспилотного воздушного судна», отчет по полевым работам, Санкт-Петербург, 2021.

Подробнее об авторах



Романов
Александр Иванович

Руководитель по направлению ХМАО, дирекция главного геофизика ПАО «ГЕОТЕК Сейсморазведка». Окончил Новосибирский государственный университет в 2003 году.



Хухарев
Анатолий Олегович

Проектный менеджер филиала ПАО "ГЕОТЕК Сейсморазведка"-"Тюменьнефтегеофизика". Окончил Тюменский государственный нефтегазовый университет в 2013 г. по специальности «Геофизические методы поисков и разведки месторождений полезных ископаемых».

Бескабельные телеметрические системы – основной тренд развития сейсморазведки

Тарасов Н.В., Гнатюк А.И, АО «СКБ СП», Саратов

Одной из объективных тенденций развития сейсморегистрирующих систем в настоящее время является увеличение проектной канальности. Согласно ряду источников, число каналов сейсморегистрирующих систем удваивается каждые 3,5 года и к 2025 году ожидают появление сейсморегистрирующих систем, обеспечивающих выполнение сейсморазведочных работ с более чем 250000 каналами.

Необходимость увеличения канальности вызвана рядом причин:

1. Увеличение производительности работ достигается прежде всего большим количеством полевой аппаратуры - для высокой производительности регистрация и перемотка оборудования должны проходить независимо друг от друга. И это наиболее важная причина, требующая наращивание канальности на проектах.

2. Миграция двухмерного разреза не восстанавливает истинные глубины залегания отражающего горизонта если падение слоев не совпадает с направлениями профиля. Истинные глубины могут быть получены только при трехмерном сейсмическом профилировании. При этом, чем круче падение отражающих слоев и/или, чем большая нужна детальность разведки, тем требуется большая частота пространственной дискретизации и, соответственно, большая канальность.

3. Применение трехкомпонентной регистрации, обеспечивающей более эффективное использование динамических параметров сейсмических волн для получения дополнительной информации о геологическом разрезе, требует дальнейшего увеличения канальности сейсморегистрирующих систем.

4. В настоящее время весьма актуальной задачей становится реализация геолого-геофизического мониторинга на нефтяных и газовых месторождениях. Для проведения мониторинга крупных объектов необходимо использование нескольких тысяч датчиков, размещенных на значительной площади

5. Разрабатываемые геофизические технологии, основанные на взаимодействии физических полей (например, сейсмоэлектроразведка), также требуют увеличения канальности полевых измерительных систем.

Авторы ряда публикаций считают, что дальнейшее развитие сейсмических технологий сдерживается использованием кабелей в процессе регистрации. Кабели служат для различных целей, хотя основной задачей является передача информации в реальном времени от датчиков на центральную систему регистрации для мониторинга работы и контроля качества. Конечно, возможность видеть все записи возбуждений в реальном времени, а также иметь возможность контролировать уровень шума на профиле чрезвычайно важно, однако с точки зрения производительности, обеспечения безопасных, здоровых, экологических условий труда и качества результатов наблюдений, цена этого удобства очень высока. Использование кабельных сейсморегистрирующих систем имеет, по крайней мере, 6 основных недостатков:

· Значительный вес системы;

· Интенсивность ручного труда и перемещений;

· Увеличение риска причинения вреда здоровью, нарушения экологии и требований безопасности;

· Потери времени, связанные с ремонтом и обслуживанием кабелей;

· Сложные схемы сети наблюдений в условиях пересеченной и урбанизированной местности;

· Недостаточное квантование подповерхностной среды

Многие геофизики считают, что основой развития отрасли должен стать отказ от кабелей в регистрирующем оборудовании и широкое внедрение в практику выполнения сейсморазведочных работ бескабельных телеметрических сейсморегистрирующих систем (в дальнейшем БТСС). И с этим трудно не согласиться. Тем более, что помимо обеспечения возможности работы с мегаканальными расстановками, БТСС должны обеспечить и ряд других, весьма существенных преимуществ, по сравнению с кабельными ТСС:

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

· Существенное снижение численности персонала полевой партии;

· Повышение гибкости и скорости размещения оборудования на исследуемой площади;

· Обеспечение возможности выполнения сейсморазведочных работ в районах, со сложными поверхностными условиями;

· Режим непрерывной регистрации в течении длительного периода (до 30 и более суток), реализуемый в ряде БТСС, необходим для мониторинга месторождений;

· Снижение степени воздействия на окружающую среду;

· Снижение рисков безопасного производственного процесса.

С широким внедрением в практику выполнения геофизических работ мегаканальных БТСС геофизики получат множество дополнительных преимуществ, включая возможность проведения широкоазимутальных наблюдений, с большими выносами, с учетом всех

▼ *Рис. 1. БТСС эффективны на работах со сложными поверхностными условиями.*



требований заказчика работ, а так же возможность полного квантования всего волнового поля с использованием одиночных датчиков.

Идеология создания БТСС

В последнее десятилетие, с появлением ряда технологических достижений в области телекоммуникационной связи, компактных и чрезвычайно емких устройств хранения данных, литиево-ионных источников питания, появилась возможность создания сверхмногоканальных бескабельных ТСС нового типа. При этом, при создании данных БТСС могут быть использованы различные подходы к проблеме организации проведения сейсмического наблюдения. Это, в свою очередь, накладывает свои требования к системной архитектуре БТСС и технологиям, используемым при их создании.

Возможны следующие варианты выполнения сейсмического наблюдения с использованием БТСС:

1. Выполнение сейсмического наблюдения с мониторингом процесса регистрации сейсмоданых и технического состояния полевых модулей путем пересылки данных об уровне шума на профиле, зарегистрированных сейсмоданных, данных о результатах тестирования полевых модулей в ЦРК в реальном времени. Техническая реализация таких БТСС требует использования сетевых беспроводных технологий передачи данных. Назовем такие БТСС «сетевыми».

2. Выполнение сейсмического наблюдения с мониторингом процесса регистрации сейсмоданных и технического состояния полевых модулей путем пересылки в ЦРК в нереальном времени только основных атрибутов выбранных трасс и данных оценки результатов тестирования полевых модулей, используемых для оценки функционирования расстановки. Каждый полевой модуль имеет независимую, двунаправленную связь с ЦРК. Назовем такие БТСС «полуавтономными».

3. Выполнение сейсмического наблюдения без мониторинга процесса регистрации сейсмоданных и технического состояния полевых модулей со стороны ЦРК. Так называемая «слепая регистрация». Такие БТСС получили название «автономные».

В свою очередь, БТСС и, в частности автономные БТСС, могут отличаться способами формирования временных меток для разделения трасс и формирования информации о пространственном положении модуля. В первой подгруппе БТСС приемник GPS может устанавливаться в каждом полевом модуле и использоваться для локализации модуля на местности и/или, по крайней мере, для обеспечения временной синхронизации. Во второй подгруппе БТСС может быть использован альтернативный подход, не требующий установки дорогих GPS приемников в каждый модуль и обеспечения контроля их работоспособности. Этот подход предполагает использование одного GPS приемника, встроенного в радиопередатчик, передающего информацию о времени для всех полевых модулей одновременно. При этом, в каждом из модулей должен иметься радиоприемник. Полевые модули БТСС размещаются на профиле рабочим, имеющим GPS приемник и устройство хранения информации о координатах положения модулей на профиле, которые впоследствии переносятся в базу данных системы.

Таким образом, структура полевых модулей существенно упрощается, снижается их стоимость и потребление

энергии. В этом случае обслуживание требуется всего лишь для нескольких GPS приемников, а однонаправленный радиоканал может быть использован, в случае необходимости, для перевода полевых модулей в режим экономии энергии.

СБТС «БАР-1» - «БАР-3» - АО «СКБ СП» (Россия)

(Бескабельный автономный регистратор одноканальный) разработана и выпускается с 2010 г. СБТС «БАР-1» является автономной бескабельной системой сбора и хранения сейсмоданных.

Система включает:

· Систему управления данными;

· Полевые блоки сбора данных;

· Модуль заряда батарей и переноса данных.

Отличительными особенностями системы являются:

· 32-х разрядная оцифровка сейсмических сигналов;

· Встроенные GPS и синхронизируемые часы;

· Встроенный генератор тест-сигналов с высоким разрешением;

· Флэш-память;

· Возможность неограниченного наращивания канальности системы;

· Непрерывная запись в течение 25 суток;

· Совместимость с взрывными, вибрационными и другими импульсными источниками возбуждения сейсмических колебаний;

· Светодиодный индикатор, сообщающий о состоянии прибора и его готовности к работе;

· Прием сигналов от стандартных аналоговых датчиков.

Полевой модуль спроектирован для записи сейсмоданных без использования кабелей и радиоканала. Автономный полевой блок включает в себя 1-3 канала с 32-х разрядной оцифровкой, встроенный высокочувствительный GPS,Глонасс-приемник, тактовый генератор, встроенный генератор тест-сигналов, энергонезависимую память емкостью до 32 Гбайт и высокоскоростной порт для передачи данных. При потере сигнала GPS тактовый генератор может сохранять точное время в течение 1-2-х часов.

Полевой блок имеет герметичный корпус, на котором имеются разъемы для подключения геофона, присоединения блока внешнего аккумулятора большой емкости и съема записанной информации.

СБТС «БАР-1»-«БАР-3» могут выполнять тестирование работоспособности цепей сейсмического канала и геофонов. Пользователь может на свой выбор задать программу тестирования – частичную или полную. По желанию пользователя можно вывести либо все результаты тестирования, либо только данные о неполадках. Собираемые и используемые для анализа данные записываются во флэш-память полевого блока. При проведении тестов программа автоматически управляет последовательностью выполнения тестов и параметрами генератора тест-сигналов. Все тесты проводятся с использованием текущих заданных значений частоты дискретизации и коэффициента усиления предварительного усилителя.

Программный комплекс включает два программных модуля: «БАР-сервис» и «БАР-станция».

Программный модуль «БАР-сервис» используется для:

· диагностирования полевых модулей БАР-1 и подключенных к ним геофонов или сейсмогрупп;

· взаимодействие с модулями БАР:

· программирование блоков перед их установкой на местности.

· считывание информации о состоянии модулей БАР-1;

· считывание сейсмических файлов.

Программный модуль «БАР-станция» используется для:

· описания топологии расстановки и списка ПВ вручную или импортированием из SPS файлов;

· получения точных значений ОМ для каждого накопления на каждом ПВ и сохранение их в базе данных;

· построения сейсмических записей для каждого ПВ с использованием следующих данных:

· данные о точных временах ОМ, сохраненные в базе данных;

· файлы сейсмических данных, зарегистрированных полевыми модулями БАР;

· SPS R-файл, содержащий топологию пунктов приема.

· взаимодействия с полевыми модулями БАР:

· передача заданий на работу в полевые модули БАР;

· получение информации о состоянии полевых модулей БАР;

· считывание сейсмических файлов данных, зарегистрированных полевыми модулями БАР.

В предыдущих публикациях журнала «Приборы и системы разведочной геофизики» уже приводились сравнительные данные о технических характеристиках большинства современных бескабельных телеметрических сейсморегистрирующих систем, включая СБТС «БАР-1» - «БАР-3», предназначенных для изучения глубинного строения разреза земной коры.

Сравнительный анализ технико-экономических характеристик СБТС, созданных рядом зарубежных компаний и СБТС «БАР» в одно или трёх канальном варианте, созданной АО «СКБ СП» в 2010 г., показывает, что по своим техническим параметрам отечественная СБТС не уступает зарубежным автономным СБТС. Кроме того в развитие существующих СБТС в СКБ СП выполнена разработка трёхкомпонентного автономного регистратора с встроенными геофонами GSVc основной частотой 5Гц.,который включён в государственный реестр средств измерений.

Развитие и перспективы СБТС

Фактически современные СБТС находятся в начале своего развития, Однако уже сейчас можно наметить следующие основные направления, по которым, развиваются и, по-видимому, будут развиваться ТСС данного типа.

Увеличение канальности системы - из всех рассмотренных СБТС компанией-изготовителем не установлено ограничение общего числа каналов для следующих СБТС: UNITE, FireFly, ZLand, БАР-1. Максимальная канальность БТСС SIGMA, UltraG5 и GSR составляет 50000.

Вопрос контроля состояния профиля в процессе регистрации, контроля технического состояния полевого оборудования и, соответственно, его надежности, а также контроля качества зарегистрированной информации. Сегодня является основным тормозом в массовом применение СБТС.

Одно из решений данной проблемы заключается в следующем. Учитывая, что одной из областей, в которой кабели имеют, по крайней мере, в настоящее время, бесспорное преимущество, является контроль в реальном времени уровня шума на профиле, было бы разумно использовать это качество кабельных ТСС в совместных расстановках с автономными СБТС. Это было бы тем

более разумно, если учесть, тот факт, что в настоящее время в сейсморазведке доминируют кабельные сейсморегистрирующие системы и это оборудование еще долгое время будет в распоряжении геофизиков.

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

В таких расстановках кабельная система может быть развернута с пониженной плотностью каналов, достаточной для контроля шума в реальном времени. Интервал между кабельными каналами может быть 100 и более метров, а интервал между кабельными линиями – не менее 500 м. Бескабельные каналы можно размещать в линии кабельных каналов, что улучшит качество данных регистрируемых данной линией наблюдения и снизит риски, связанные с возможным повреждением кабеля. Необходимо отметить, что подобные совместные расстановки уже используются в настоящее время.

Обеспечение максимальной длительности регистрации особенно необходимо для СБТС, используемых для мониторинга месторождений. Из всех рассмотренных БТСС 5 систем (UNITE, SIGMA, FireFly, GSR, Z Land, БОР-1), работая в автономном режиме, могут регистрировать информацию в течение 24 и более суток. Этот параметр определяется объемом встроенной памяти, потреблением энергии электроникой СБТС, организацией оптимального режима регистрации, емкостью используемых батарей питания (внутренней и внешней), возможностью «горячей» замены внешней батареи.

Обеспечение максимальной надежности работы полевого оборудования особенно важно для автономных сверхмногоканальных СБТС, не имеющих обратной связи с ЦРК в реальном времени. При этом технические параметры полевых блоков данных СБТС должны обеспечивать возможность автономной работы не менее 288 часов или 24 дня при 12 часовой загрузке в день. Блоки должны иметь чрезвычайно высокую надежность работы. Специалисты компании Fairfield Industries считают, что для 10000 канальной расстановки допустимая интенсивность отказов должна быть не более 6 отказов в день.

Обеспечение максимальной производительности

Наиболее важными факторами, влияющими на производительность СБТС, являются:

· Вес оборудования;

· Энергия, потребляемая наземной электроникой;

· Используемые батареи питания и управление системой питания;

· Оптимальное управление источниками возбуждения и расстановкой.

· Оптимальная система съема и первичной обработки зарегистрированной информации.

Чтобы бескабельные телеметрические сейсморегистрирующие системы действительно обеспечили наступление эпохи мегаканальных партий, а также реальное уменьшение стоимости проведения работ и снижение воздействия на окружающую среду, они, помимо упомянутых ранее критериев, должны отвечать следующим требованиям:

· Доступная стоимость оборудования.

Не имеет значения насколько изделие хорошее, если оно дорогое. У него будет слишком узкая ниша на рынке оборудования. Сейсмические данные не могут иметь слишком большую стоимость. Даже те, которые зарегистрированы

только одной мегаканальной расстановкой.

· Система должна обеспечивать низкие затраты на работу с оборудованием в поле. Это особенно важно для систем с огромным числом каналов. Эти затраты напрямую связаны с надежностью оборудования и его весовыми характеристиками и, в частности, с потребляемой мощностью.

Заключение

В данной публикаци не ставится задача проведения сравнительного анализа существующих бескабельных сейсмосистем на рынке геофизических работ. Выбор, как правило, определяет Заказчик геологического проекта. Но уже становиться очевидным, что наиболее востребованными будут так называемые автономные «слепые» сейсмосистемы. Причина заключается в том, что они просты в эксплуатации и достаточно надёжны и компактны.

Осталось решить два основных вопроса: это время непрерывной регистрации при температурах от -50 до +75 градусов Цельсия не менее 50 суток и наличие бесконтактной зарядки батарей. И пути решения данных задач уже видны и понятны.

Необходимо должное внимание со стороны компаний заказчиков геофизических услуг, которым надо увидеть в БТСС реальные возможности революционного скачка в развитии геофизических технологий.



Рис. 2. Автономные системы БАРС со встроенным геофоном – – новая разработка СКБ СП .

Подробнее об авторе



Тарасов
Николай Владимирович

исполнительный директор
АО "СКБ СП"
к.т.н., автор многих
статей и нескольких
изобретений.



Гнатюк
Александр Иванович

Главный конструктор
АО “СКБ СП”,
автор нескольких
изобретений
и публикаций.

СПЕЦИАЛЬНОЕ КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО
СЕЙСМИЧЕСКОГО ПРИБОРОСТРОЕНИЯ
SKBSP.RU

РОССИЙСКОЕ
ГЕОФИЗИЧЕСКОЕ
ОБОРУДОВАНИЕ



SCOUT-L

Надежный комплекс для изучения ВЧР методами МПВ и ОГТ

- От 6 до 96 каналов сбора данных
- Работа без системы синхронизации
- Сейсмическая коса со стандартными отводами РКВ-21 или РКП-2М
- 3 года безусловной гарантии
- Управление комплексом через wi-fi с планшета
- Минимальный интервал квантования 0,03125 мс
- Работа в любых условиях от -40 до +70
- Встроенный GPS/GLONASS приемник, Wi-Fi, Li-Pol аккумуляторы, генератор тестовых сигналов

ссылка на видео о системе

sales@skbsp.ru | +7 (8452) 570-500

Нодальная система для эффективной сейсморазведки в российских условиях

Стивен Уилкокс, Sercel

Введение

В этой статье будет дано краткое описание конкретных проблем сейсморазведки в России. Затем в общих чертах представим некоторые из наблюдаемых во всем мире тенденций в сейсмических технологиях - низкочастотный сбор данных, высокоплотный сбор данных с одиночным источником и более широкое использование наземных нодальных систем.

Также в статье будет описана система WiNG, включая понимание того, как функции и функциональные возможности системы дают клиентам возможность извлекать выгоду из вышеупомянутых отраслевых тенденций даже в специфичных условиях российского рынка.

Разработки технологий в области сбора полевых сейсмических данных

Особые требования к сейсмической съемке в России.

Большая часть наземных сейсморазведочных работ, проводимых на территории Российской Федерации, ведётся на Западно-Сибирской равнине, уникальное географическое положение которой создает чрезвычайно сложные условия и накладывает особые ограничения на оборудование и операции при проведении сейсморазведки. Чувствительные к внешнему воздействию тайга и тундра этого региона могут быть легко повреждены сейсмическими работами, поэтому проекты сбора сейсмических данных ограничены зимними месяцами, когда промерзшая земля и мощный снежный покров гораздо более устойчивы к воздействию транспортных средств. Прямым результатом этого является проведение операций в холодных, а иногда и экстремально холодных климатических условиях. Помимо этого, в последние годы были предприняты дополнительные меры, направленные на уменьшение ущерба, наносимого флоре региона, и сокращение объема выполняемых рубок деревьев и расчистки лесов. Однако в последние годы крупные полевые сейсмические проекты все чаще планируются и реализуются в регионах Восточной Сибири. Условия этого региона отличаются еще более экстремальными температурными режимами, непростой логистикой, отсутствием развитой транспортной инфраструктуры и более сложной геологией на подавляющем большинстве перспективных к изучению объектов.

Как следствие, в России мы наблюдаем тенденцию к использованию более легкого оборудования, которое удобнее транспортировать и развертывать, при сохранении неизменным требования удаленного мониторинга рабочего состояния оборудования для обеспечения контроля качества данных.

Мировые тенденции

Усилия по повышению качества сейсмического изображения — это непрерывный процесс, идущий в геофизическом сообществе, причем значительное внимание уделяется повышению качества данных в низкочастотной области сейсмического спектра. Многие организации перешли от геофонов с частотой среза 10 Гц к геофонам с частотой среза 5 Гц или к датчикам MEMS, чтобы улучшить низкочастотный контент, а производители вибраторов приложили много усилий для улучшения качества исходного сигнала, особенно с точки зрения линейности сигнала и искажения.

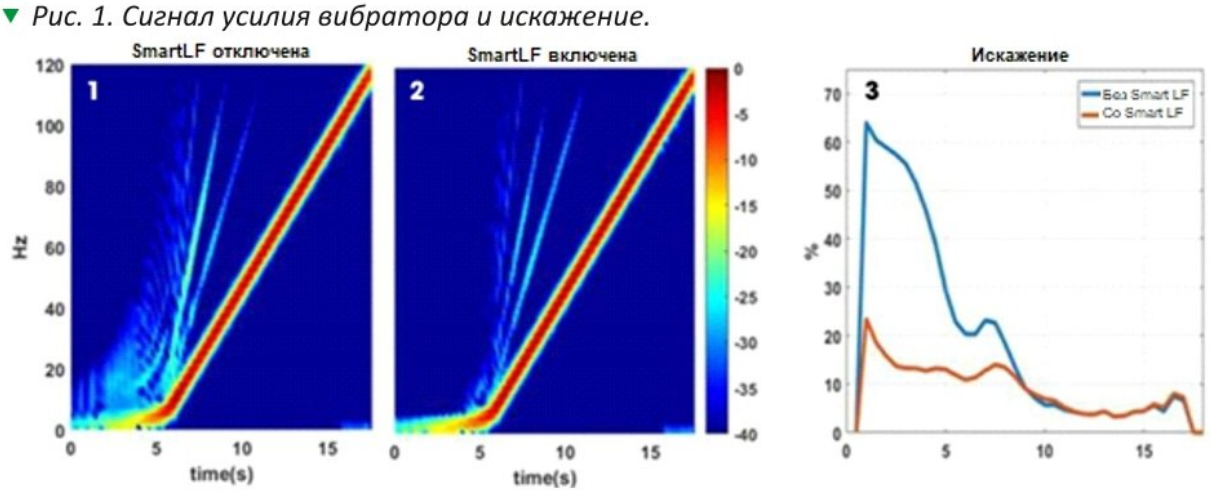
Широкополосная съемка

Были внесены усовершенствования в конструкцию вибраторов, включая увеличение массы и длины хода реакционной массы, увеличение давления в гидравлике и перемещение гидроаккумуляторов как можно ближе к сервоклапану. Эти конструктивные изменения в совокупности позволили снизить начальную частоту выхода на полную мощность до 5–5,5 Гц. Существует возможность и далее улучшать низкочастотные характеристики вибратора, однако это может происходить за счет значительного снижения его высокочастотных параметров в пределах представляющей интерес нормальной сейсмической полосы пропускания. Между тем были разработаны низкочастотные нелинейные свипы (low-dwell sweeps), которые на сегодняшний день остаются единственным типом развертки, позволяющим полностью контролировать генерируемый энергетический спектр на низких частотах, и достигать более низких частот, ожидаемых пользователем, без нарушения физических ограничений, налагаемых оборудованием.

Дальнейшие инновации были применены к электронике вибратора, управляющей сейсмическим источником, для обеспечения эффективного и высокоточного управления вибратором, в том числе на низких частотах (Tellier 2014). Дополнительные усовершенствования электроники управления источником включают решения по снижению низкочастотных искажений. Действительно, благодаря их конструкции искажения в низкочастотной области сейсмического сигнала намного выше, чем в обычной сейсмической полосе пропускания. Модуль SmartLF решает эту проблему эффективным и простым способом (Ollivrin 2021). Эта технология, встроенная в электронику вибратора, предсказывает гармоники и предотвращает их генерацию, не требуя предварительного обучения персонала и разработки конкретного свипа для каждого вибратора. Подробности этой технологии были описаны Ж.Оливрэном (2021). На рисунке 1 показано улучшение в части искажения сигнала источника, которое может быть достигнуто.

На Рисунке 1 графики представляют сигнал усилия вибратора и его искажение. На панели 1 показана зависимость частоты усилия от времени с отключенным подавлением искажений. Панель 2 иллюстрирует зависимость частоты усилия от времени при включенном подавлении искажений. На панели 3 показано общее искажение в зависимос-

▼ *Рис. 1. Сигнал усилия вибратора и искажение.*



ти от времени, причем искажение выражено в процентах от общего воздействия.

Со стороны приемных устройств прогресс в большинстве случаев ограничивался переходом от геофонов с частотой среза 10 Гц к геофонам 5 Гц, и это, безусловно, увеличивает количество записываемого низкочастотного контента, однако это неполное решение. Возможность записи низкочастотного сигнала с истинной амплитудой и фазой нарушается на низкой частоте из-за явления, называемого размыванием (джиттером) данных (Tellier, 2020), которое не происходит с датчиками MEMS.

В целом, максимизация качества генерации и записи низких частот зависит от сочетания выбора оборудования и методов:

-вибратор, достаточно усовершенствованный для работы на низких частотах;

- использование нелинейных низкочастотных свипов (low-dwell sweeps), с электроникой вибратора, предназначенной для поддержки правильного управления низкими частотами;

- эффективное подавление низкочастотных искажений;

- сейсмические датчики, не подверженные размытию (дрожанию) данных, такие как MEMS 3-го поколения;

- специальная низкочастотная обработка.

Высокая плотность, одиночный датчик

Плотность трасс (то есть кратность, разделенная на размер бина) в настоящее время широко признана как ключевой параметр для улучшения качества изображения и повышения точности анализа коллектора. В то же время размеры групп приемников уменьшаются, чтобы сохранить высокочастотный сигнал, снизить требования к объему оборудования и упростить работу с ним в полевых условиях. Что касается источника, то поиск более высоких плотностей традиционно решается с использованием одиночных вибраторов и передовых высокопроизводительных методов, таких как DS4 или смешанный сбор данных, для увеличения плотности трассировки с одновременным достижением оптимального компромисса между качеством данных и стоимостью. В дополнение к сохранению высокочастотного сигнала, расстановки с высокой плотностью без группирования приемников улучшают пространственное разрешение, упрощают пикирование первых вступлений и предоставляют для обработки хорошо дискретизированный сигнал и шум, что делает удаление последнего намного более эффективным и, следовательно, значительно увеличивает отношение сигнал / шум в финальном результате по сравнению с обычными съемками.

Нодальные системы

До мирового финансового кризиса 2008 года на мировом рынке оборудования регистрации наземных сейсмических данных в значительной степени преобладали традиционные системы кабельной телеметрии. В последующий период системы беспроводной записи начали проникать на рынок, однако кризис цен на нефть 2014 года создал рыночные условия, в которых наземные нодальные системы начали заменять как системы кабельной телеметрии, так и другие конфигурации беспроводных систем. Действительно, в некоторых регионах, таких как Северная Америка, доля наземных нодальных систем, введенных в эксплуатацию (продажа и аренда), достигла почти 100%. Причины такого перехода рынка на наземные нодальные системы имеют несколько аспектов.

Хотя разница в капитальных затратах может быть незначительной по сравнению с системами кабельной телеметрии (наземные нодальные системы могут даже иметь более высокую начальную стоимость), сейсмические подрядчики и их клиенты ожидают, что эксплуатационные расходы будут ниже. Аргументы в пользу этого включают:

- требуется меньше полевого персонала для расстановки и сбора оборудования;
- сложные полевые условия легче разрешаются с помощью нодов (без организации обходов и т. д.);
- нет необходимости ремонта кабелей;
- ожидается увеличение производительности при реализации проекта по сбору данных (большее число ФН в день).

Аргумент в пользу увеличения производительности основан на отсутствии обрывов кабеля, которые могли бы прервать сбор данных, и на отсутствии простоев, вызванных контролем качества (слепые операции). Этот последний аргумент является несколько спорным, поскольку он увеличивает риск получения данных низкого качества от подрядчика для клиента. Утверждения, которые делаются некоторыми производителями наземных нодальных систем, чтобы преуменьшить этот риск, включают заявления о том, что современная электроника имеет очень высокую надежность с низкой вероятностью отказа. Это утверждение действительно может считаться обоснованным, но оно не устраняет другие факторы, влияющие на качество данных, включая шумовые помехи, а также случайные или преднамеренные помехи работе оборудования.

Применимость в России

Для оценки эффективности низкочастотного сбора данных в России были выполнены соответствующие тесты. Их анализ и оценка представлены в работе Н.Тэлье и др. (2016). Эти испытания показали положительные результаты, что привело к реализации значительного количество проектов с использованием этих методов на полуостровах Гыдан и Ямал, а также в Волго-Уральском регионе. Тенденция к уплотнению также отчетливо прослеживается в России, где геометрия становится более плотной, а группы приемников сокращаются, в некоторых случаях до одного датчика.

До текущей даты на российском рынке не наблюдалось широкомасштабной замены кабельных телеметрических систем наземными нодальными системами, как это имело место в некоторых других частях мира, и до сих пор большинство российских сейсмических подрядчиков по-прежнему отдают предпочтение кабельным телеметрическим системам.

Наиболее вероятные причины этого заключаются в том, что кабельные телеметрические системы, предоставляя результаты контроля качества в режиме реального времени и, имея возможность автоматически и быстро генерировать файлы выходных данных, позволяют операторам сейсмических систем управлять качеством собранных данных. Это может быть особенно важно при работе в районах со сложными условиями окружающей среды. Работа вслепую, которая является обычной практикой при использовании нодальных наземных систем, считается высокорисковой в российских условиях. Кроме того, операционные ограничения нодальных систем часто означают, что полученные данные не формируются и не экспортируются в течение нескольких недель после завершения проекта, так что контроль качества данных не может выполняться в ходе проекта.

Однако это не означает, что использование нодальных систем в России полностью исключено. Существует определенный интерес к их использованию в областях, где ноды имеют решающее преимущество. Примером могут служить объекты со старой нефтяной инфраструктурой, или такие, где сама топология создает существенные препятствия для эффективного развертывания систем кабельной телеметрии. Хотя в большинстве случаев, когда используются ноды, они развертываются вместе с кабельной системой в конфигурации, известной как “сгущение”, где большая часть сбора данных выполняется обычным способом.

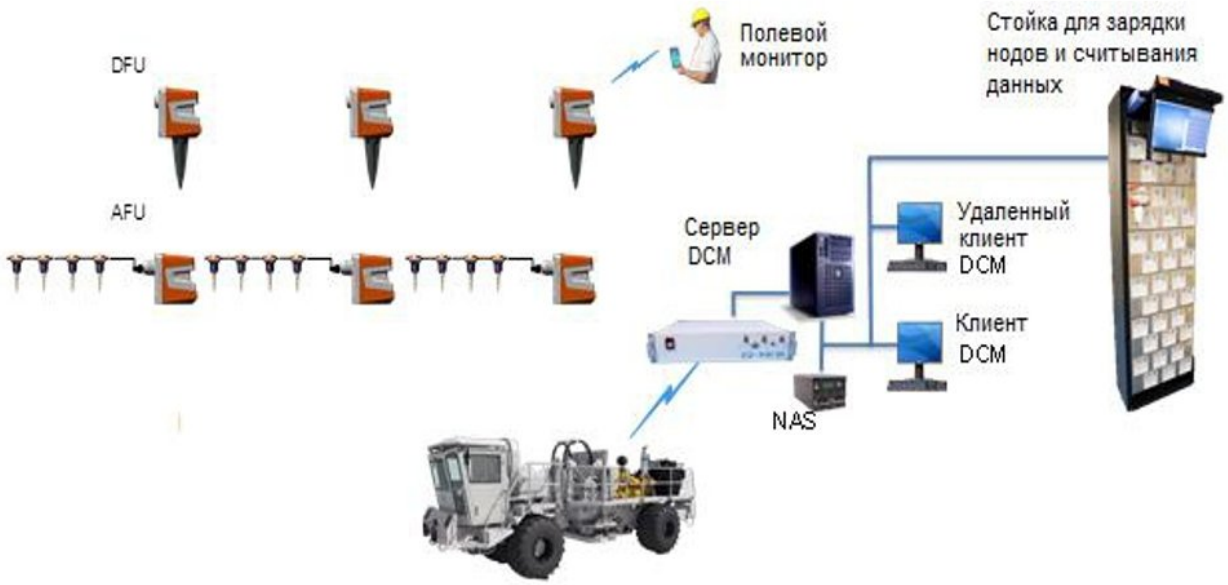
Несмотря на медленное проникновение этой технологии в Россию, нодальные системы действительно могут предложить российским сейсмическим подрядчикам существенные преимущества для их операций. В дополнение к уже упомянутой гибкости расстановки, когда препятствия на земле больше не мешают эффективному развертыванию и сбору оборудования, простота установки и сбора оборудования по сравнению с исключительно кабельной системой может значительно облегчить полевые операции. В частности, устранение необходимости в постоянном наличии кабины регистрации на транспортном средстве на объекте, которое присуще системам кабельной телеметрии, может существенно снизить ограничения в области ОТПБиООС и воздействие проекта на окружающую среду.

Таким образом, очевидно, что наземные нодальные системы действительно применимы на российском рынке, однако их массовое внедрение сдерживается опасениями по поводу возможности контролировать оборудование во время работы, и требованием быстро и легко создавать файлы данных для оценки их качества.

Система WiNG

Компания Sercel уже много лет поставляет на российский рынок наземное сейсмическое оборудование, и недавно запустила в производство нодальную наземную систему, в которую интегрированы самые новейшие технологии, соответствующие современным тенденциям в области сбора сейсмических данных. Беспроводная система следующего поколения (Wireless Next Generation) или система WiNG — это комплексное системное решение, включающее два варианта нода (DFU со встроенным цифровым датчиком и AFU с разъемом для внешнего геофона), стойки для зарядки и сбора данных, полевые инструменты и полнофункциональный центральный блок (DCM) с интегрированной функцией управления источниками (Source Manager), см. Рисунок 2.

Модуль Source Manager позволяет системе WiNG реализовать функцию Sercel Smart LF, позволяющую генерировать низкочастотный сигнал с низким уровнем искажений. Помимо этого, для регистрации сейсмического сигнала нод WiNG DFU использует акселерометры MEMS последнего поколения. Этот датчик, получивший название Quiet Series, снимает ограничения по низкой частоте, присущие двум предыдущим поколениям датчиков MEMS. Теперь он позволяет регистрировать сейсмические сигналы с высокой точностью ниже 1 Гц (Fougerat, 2018). Датчик работает в системе Sercel 508XT с 2013 года. Его надежность и высокое качество данных были проверены на практике. Этот приемник сигналов является уникальным в отрасли, и имеет ряд преимуществ перед геофонами, интегрированными в другие ноды.

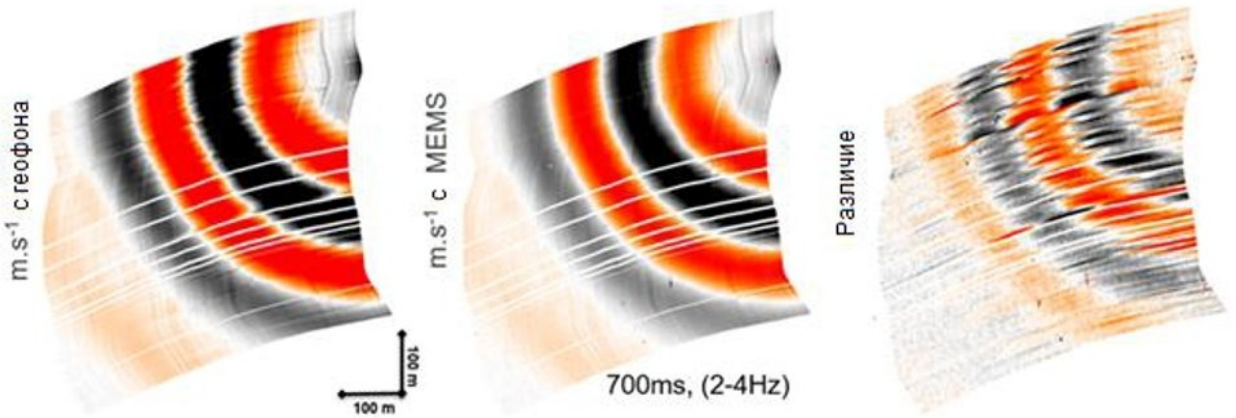


▲ *Рис. 2. Схема системы WiNG.*

Общие преимущества MEMS перед геофонами включают их нечувствительность к электромагнитным помехам и отсутствие паразитных частот. Уровень искажений датчика также значительно ниже (-90 дБ для MEMS по сравнению с -62 дБ для геофонов). Характеристики искажения сейсмических датчиков имеют первостепенное значение для обеспечения точности получаемых данных, хотя в целом отрасль игнорирует этот параметр. Это крайне важно, когда генерируются низкие частоты (больше гармоник в сейсмической полосе) или, когда проекты выполняются с использованием высокопроизводительных методов (контаминация внутри записи). Кроме того, искажение невозможно смоделировать, и зачастую оказывается невозможным ослабить их влияние при обработке.

Существенным преимуществом датчика QuietSeis перед геофонами является отсутствие явления, называемого джиттером (дрожанием, или размытием) данных. Оно влияет на записанные данные, внося частотно-зависимые амплитудные и фазовые искажения, которые нельзя исправить на этапе обработки. Источником джиттера данных являются вариации отклика геофонов, которые разнятся от устройства к устройству. Ключевыми рабочими параметрами и, следовательно, откликом на сейсмический сигнал геофона являются его чувствительность, частота среза и коэффициент затухания. Однако эти параметры могут изменяться из-за производственных допусков, колебаний температуры и старения самого устройства. Процесс производства геофонов и сама их конструкция не позволяют задать одинаковые значения этих параметров каждому геофону, даже если они имеют в точности одинаковый "возраст" и одну и ту же температуру, что в свою очередь имеет следствием упомянутые отклонения в отклике отдельных геофонов в пределах расстановки. Это отклонение проявляется в виде "дрожания" данных, представляющего собой погрешность в точности записанных данных, которая может достигать более 4 дБ по амплитуде и 15° по фазе на определенных частотах для геофона с частотой 5 Гц.

Датчики Quietseis производятся с использованием полупроводниковой технологии MEMS и уже в силу этого



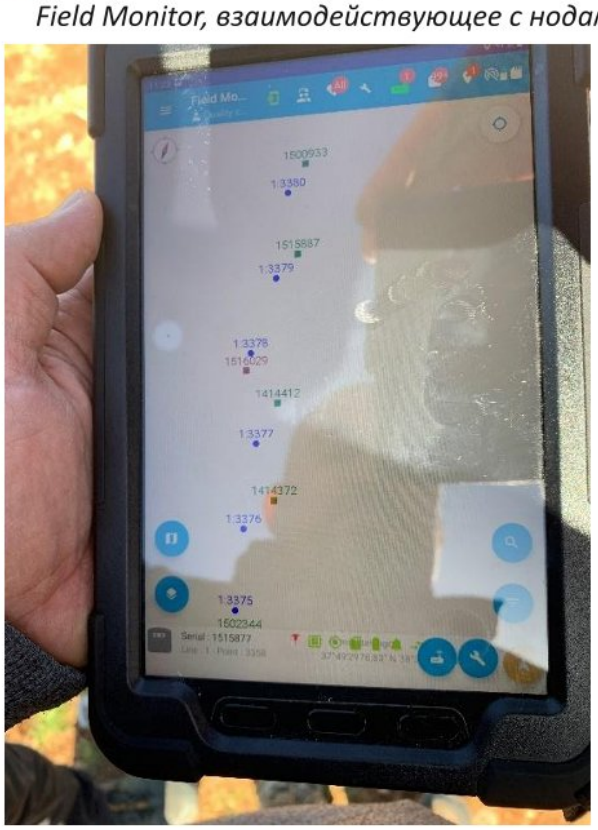
▲ *Рис. 3. Временные срезы данных на 700 м/сек для октавы [2-4 Гц]. Амплитудные ошибки проявляются в виде полос по горизонтали (данные собраны по общему пункту приема), в то время как фазовая ошибка проявляется как «размытая» граница между максимумом сигнала (дан красным цветом) и минимумом (черным цветом). Эти два явления хорошо видны на данных с геофонов, но отсутствуют на данных с МЭМС.*

изготавливаются с очень малыми допусками, и не подвержены изменениям, вызванным температурой и старением. Как следствие, джиттер данных у них отсутствует, а записанные значения амплитуды и фазы верны, независимо от частот: от постоянного тока (0 Гц) до нескольких сотен герц. Это является значительным преимуществом для приложений FWI или AVO.

Чтобы провести сравнение, в Sercel был выполнен параллельный тест, полные результаты которого описаны в работе Н.Тэлье (Tellier 2020), по результатам которого была получены временные срезы, показаные на рисунке 3. На этих срезах джиттер данных хорошо виден при сравнении данных с геофонов с данными MEMS (QuietSeis).

Помимо сенсора, адаптированного к новейшим технологиям сбора данных, существует еще одна ключевая особенность системы WiNG, которая делает её подходящей наилучшим образом именно для российского рынка, и уникальной среди нодальных систем, а именно - возможность удаленного контроля качества по беспроводной сети. Сеть Pathfinder позволяет объединить ноды в единую сеть после их расстановки в поле, обеспечивая устойчивую и надежную беспроводную связь. Она построена так, что каждый нод идентифицирует соседние устройства для установки связи, и передает им информацию о своем статусе для ретрансляции на конечный

▼ *Рис. 4. Портативное устройство WiNG Field Monitor, взаимодействующее с нодами.*



терминал. В сети используется протокол самонастройки и самовосстановления, поэтому при развертывании или перемещении нодов не требуется их донастройка или иное вмешательство оператора.

При использовании сети Pathfinder полевой персонал может быстро и без повторной проверки каждого нода собирать топографическую информацию и сведения об их состоянии, и загружать их в DCM (центральный блок) для отображения. Кроме того, ноды могут отслеживать уровень шума в поле и угол своего наклона, немедленно передавая в сеть Pathfinder сигнал, если значение параметра в какой-то момент превысило предустановленный предел.

Беспроводной сбор топографической информации также играет ключевую роль в системе WiNG. В DCM (центральном блоке) эта информация автоматически обрабатывается инструментом автоматической топопривязки (Auto Assignment tool), который сопоставляет топографические данные о местоположении нода с файлом SPS-R, и назначает каждому ноду соответствующий пикет приема, в котором он расположен. В случае какой-либо неоднозначности - например, если нод получает слабый сигнал GPS в случае ухудшения условий его приема, оператор получает соответствующее предупреждение с предложением проверить расположение этого нода. В целом для проектов за пределами городской черты рассчитано, что более 90% нодов назначаются автоматически, без вмешательства оператора.

Выполнение такой топопривязки на ранней стадии проекта имеет ряд преимуществ. Во-первых, это позволяет обнаруживать и устранять ошибки на раннем этапе, пока оборудование еще находится в поле, вместо того, чтобы устранять их при последующей обработке данных. Это также позволяет оператору создавать неполные файлы данных для целей контроля качества, по мере того как данные считываются с нодов. Это позволяет заказчику иметь уверенность в том, что геофизические цели проекта будут достигнуты в кратчайшие сроки.

DCM, или диспетчер завершения данных, представляет собой центральное устройство с широким диапазоном функциональных возможностей, которое обеспечивает все функции контроля, мониторинга и управления данными, необходимые для ведения сейсморазведки. В дополнение к уже описанным функциям автоматической топопривязки и контроля качества, DCM обеспечивает полное управление событиями источника сигнала, завершение данных, а также подготовку и экспорт файлов SEG-D. В случаях, когда система WiNG используется совместно с другой системой Sercel (например, 508 или 428), DCM может импортировать SEG-D из другой системы и объединить полученные данные для создания единого массива. Вместе с дополнительным модулем Source Manager DCM также можно использовать для настройки и управления источниками возбуждения, что отличает WiNG от многих других нодальных систем, которые полагаются на решения для управления источниками от сторонних производителей. DCM разработан с архитектурой типа «клиент-сервер», позволяющей нескольким рабочим местам отслеживать и контролировать ход операций.

Несмотря на очевидные преимущества регистрации сейсмоданных с помощью датчика QuietSeis, мы считаемся с пожеланиями многих сейсмических подрядчиков продолжать работу с обычными геофонами, как для того, чтобы оправдать сделанные ранее инвестиции, так и в силу особых контрактных обяза-



▲ *Рис. 5. Нод WiNG DFU, развернутый в Южной Америке.*

тельств или геофизических причин, когда требуется установка именно групп геофонов. В любом подобном случае подрядчик все же получает многие из преимуществ системы WiNG, так как доступна альтернативная комплектация нода с разъемом КСК, для регистрации данных с геофона. Такой нод (AFU) имеет почти те же функции и преимущества, что и DFU, за исключением датчика QuietSeis.

Система WiNG в настоящее время используется несколькими подрядчиками по всему миру, от Турции до Северной и Южной Америки. Несмотря на то, что условия там отличаются от российских, упомянем о том, что североамериканский оператор продолжил сбор данных во время экстремального похолодания, когда температура около -30 ° С сохранялась в течение многих дней, что еще раз подтверждает пригодность системы WiNG к работе в суровых климатических условиях.

Помимо этого, недавно в Республике Саха (Якутия) российским сейсморазведочным подрядчиком были проведены полевые испытания с применением небольшой системы из 1000 нодов WiNG, в полной рабочей комплектации, для сбора данных 3D методом вибросейс в типичной для этого региона таежной местности. Испытание прошло очень успешно, с полнофункциональным контролем качества по сети Pathfinder на расстановке с интервалом между приемниками 50 м и интервалом между линиями 300 м, что в очередной раз доказало применимость системы WiNG к работе в этих условиях. На дату написания этой статьи идет подготовка проведения последующих тестов системы WiNG в различных природно-климатических условиях в течение 2021 года.

Выводы

Обстоятельства вынуждают российских сейсморазведочных подрядчиков переходить на новейшие методы наземной сейсморазведки, включая регистрацию низкочастотных сигналов, генерацию сигнала источника с меньшими искажениями, и бороться за повышение эксплуатационной эффективности, которую дают нодальные системы сбора данных. Однако преимущества, предлагаемые этими технологиями, не должны быть реализованы ценой роста проектных рисков или утраты контроля над проектом.

В этой статье мы старались показать, что система WiNG предлагает российским подрядчикам решение, позволяющее использовать нодальные технологии сбора данных без ущерба для функций мониторинга и контроля рисков, которые в настоящее время предоставляются системами кабельной телеметрии.

Литература

1. Criss J. [2020]. Операционное влияние нодов при производстве крупномасштабных сейсмических работ First Break № 38 вып. 1, 59-62.

2. Fougerat, A., Guérineau, L. and Tellier, N. [2018]. Запись высококачественного сигнала с частотой до 0,001 Гц с помощью стандартных акселерометров MEMS Материалы 88-й ежегодной конференции SEG, расширенные тезисы.

3. Ollivrin G., Tellier N., and Ellis R. [2020]. О природе сейсмических искажений Hart Energy E&P, 58-60.

4. Ollivrin, G. and Tellier, N., 2021, SmartLF как инструмент для мощного и стабильного уменьшения искажений низкочастотного сигнала. Приборы и системы разведочной геофизики, 1 (68)/2021.

5. Tellier, N., Dagaev, I. And Bolbat, V., 2016, Успешные опытные работы открывают путь к применению вибрационной сейсморазведки на низких частотах в России. Приборы и системы разведочной геофизики, 4 (58)/2016.

6. Tellier, N. and Wilcox, S., 2018, Уверенность в качестве данных с наземных сейсмических регистраторов. First Break, № 36, стр. 53-59.

7. Tellier, N., Laroche, S., Wang, H. and Herrmann, Ph., 2020, Регистрация одиночными датчиками без джиттера (размытия) данных: сравнительное исследование датчиков. Приборы и системы разведочной геофизики, 4 (67)/2020.

Подробнее об авторе



Стивен Уилкокс

руководитель направления беспроводного оборудования Sercel

Уменьшение размера нодальных систем, открывающее перспективы высокоплотной сейсморазведки

Амин Оураба, компания СТРАЙД

Сейсморазведка высокой плотности - источник и приемник

Одним из наиболее важных факторов, необходимых для высокого качества сейсмического изображения недр является количество измерений на единицу поверхности исследований или плотность точек ОГТ. Чем сложнее сейсмические задачи, тем более плотной должна быть съемка, чтобы получить высококачественный продукт (Ourabah et al, 2015), дающий информацию не только о структурном плане, но дать другие характеристики среды.

Увеличение плотности съемки достигалось прежде всего увеличением количества ПВ, в то время как количество точек приема увеличивалось медленнее. В течение многих лет в основном использовались кабельные технологии. Но при этом сейсморегистрирующие системы оставались слишком громоздкими, тяжелыми и дорогими, что снижало экономическую эффективность работ.

Сегодня на многих проектах переходят к автономным приемным узлам (нодам), что позволяет удешевить сейсморазведочные работы повышая при этом плотность исследования. Но большинство доступных нодальных систем по-прежнему остается массивными и тяжелыми, да и дорогими.

Это сдерживает сейсмическую отрасль в реализации проектов реально высокой плотности. Можно констатировать, что «плотной» сегодня называется съемка с плотностью до миллиона трасс/км2. Однако сегодняшние технологии могут дать инструмент для реализации по-настоящему «сверхплотных» исследований - более миллиарда трасс/км2.

Чтобы достичь этих целей, обеспечить гибкость в отношении плотности точек возбуждения, STRYDE взял на себя инициативу по разработке самого легкого, самого маленького и самого дешевого нода на сейсморазведочном рынке.

Дизайн самого легкого в мире нода

Многие существующие сейсмические ноды являются громоздкими и тяжелыми. Их доставка на пикет требует использования отдельных транспортных средств, что создает логистический барьер для сейсмики высокой плотности. Таким образом, уменьшение размера и веса узлов является ключом к сокращению затрат, в сейсморазведке высокой плотности. Кроме того, небольшие узлы могут снизить воздействие на окружающую среду за счет минимизации количества транспортных средств и необходимости в тщательной подготовке и расчистке приемных линий. Как следствие, использование легких нодов STRYDE позволяет снизить общие риски ведения сейсмических работ. При меньшем количестве транспортных средств, перевозящих сейсмооборудование, вероятность аварии значительно снижается.

BP сотрудничала с “Роснефтью” и Schlumberger в создании нового "проворного" узла STRYDE (Manning et al, 2018), который был окончательно разработан в 2019 году. Размер узла составляет 13x4 см и весит всего 150 г, что позволяет транспортировать и размещать десятки тысяч узлов на больших площадях пешком за один

▼ *Рис. 1. Нодальные датчики STRYDE.*



день (Ourabah & Crosby 2020). Поскольку узел достаточно легок, его можно транспортировать по чрезвычайно пересеченной местности, как показано в недавнем исследовании в Скалистых горах.

В ходе НИОКР был проведен ряд полевых испытаний, показавших, что узел STRYDE может использоваться для выполнения сейсмических работ высокой плотности трассировки при меньших затратах и в более короткие сроки, чем при использовании кабельной телеметрии или других нодальных систем. В 2018 году STRYDE был использован в производственных работах в Сибири для сравнения с кабельной системой с 12 геофонами. Это испытание продемонстрировало эффективность оборудования STRYDE в условиях экстремального холода, а также показало, на сколько сокращается необходимость в технике в работе (Brooks et al, 2018).

В 2019 году компания ADNOC в ОАЭ завершила крупномасштабные полевые испытания 3D с узлами STRYDE, выполнив самую плотную сейсмичсекую съемку в истории отрасли. За 53 дня 36 человек развернули 500 800 узлов, достигнув плотности 184 миллиона трасс/км2.

Работы, проведенные компанией ADNOC, также были чрезвычайно полезными для демонстрации того, как может быть организована система полевого контроля качества нодов STRYDE. При тестовом анализе, предваряющем производственные работы массив нодов был проверен на работоспособность вручную. Хотя узлы, используемые в этом тестировании, еще не были коммерческой версией оборудования, только у 0,33% узлов возникла ошибка в течение 53-дневного пробного периода. Большинство этих ошибок были связаны с исправимыми проблемами с прошивкой, при этом записываемые сейсмические данные были кондиционны.

При коммерческом использовании только 2 из 175 000 узлов STRYDE, развернутых в полевых условиях, вышли из строя – наблюдаемая частота отказов составляет 0,0001%. Таким образом, качество промышленного оборудования позволяет вообще отказаться от каждодневного контроля работоспособности полевого регистрирующего оборудования при наличии действительно плотных полевых систем наблюдения.

Как можно использовать сейсмические данные высокой плотности?

При обработке сейсмических данных высокой плотности можно использовать два основных подхода:

Ускоренная обработка: Постепенное вовлечение в обработку получаемых данных, подбор параметров обработки по выборочным данным, что позволит оперативно осуществлять расчет поправок, подбор параметров процедур, используемых в полном графе обработки. По мере увеличения объема данных, вовлекаемых в обработку растет время машинные ресурсы, необходимые для расчета. Данные быстрой обработки будут использованы в качестве предварительно этапа,

▼ *Рис. 2. Полевые работы в России (А) и в ОАЭ (В) с оборудованием STRYDE.*



обеспечивая предварительные геологические результаты в ожидании обработки всего массива данных, которая на проектах с очень высокой плотностью может занять более года.

Обычная обработка: компании, осуществляющие обработку данных должны быть готовы работать с объемами в несколько петабайт сейсмических данных в качестве входных данных, чтобы обеспечить высокое качество результатов PSDM и сложные сейсмические характеристики в разумные сроки.

Если мы возьмем пример крупномасштабного полевого испытания, проведенного ADNOC в 2019 году, оно было обработано трижды тремя различными компаниями для 3 различных целей. Эти три подхода не являются взаимоисключающими и могут применяться параллельно или на разных этапах в течение полевых работ.

В то время как сейсмика высокой плотности представляет собой проблему “больших данных”, когда дело доходит до обработки, достижения в области анализа данных, используемые в других отраслях, могут еще больше снизить затраты, связанные с сейсмической визуализацией. Например, искусственный интеллект и машинное обучение могут использоваться для автоматизации основных этапов QAQC и обработки, потенциально связывая еще необработанные данные непосредственно с атрибутами, которые ищет конечный пользователь.

Облачные вычисления также могут заменить обычные центры обработки данных, позволяя сторонам хранить и передавать огромные объемы данных с меньшими затратами.

В каких отраслях промышленности сейсморазведка высокой плотности может быть эффективна?

Узлы STRYDE изначально были разработаны для обеспечения чрезвычайно высокой плотности сейсмических исследований с плотностью в миллионы или миллиардах трасс/км2 для нефтегазовых проектов. Однако, уменьшив размер и стоимость узлов для масштабирования сейсмики высокой плотности, STRYDE также смог демократизировать доступ к сейсмической съемке для целого ряда других отраслей промышленности - от геотермальных исследований до археологии, для угольной и горнодобывающей промышленности.

Непрерывная запись, осуществляемая узлами STRYDE, открывает возможность обработки пассивных сейсмических данных при контроле ГРП и мониторинге контроля ПХГ, разработки месторождений с использованием методов интерферометрии, которые могут давать дополнительную геологическую информацию, ориентируясь на очень низкие частоты спектра.

Как только барьер затрат на сейсмику высокой плотности будет преодолен с появлением дешевых сейсморегистрирующих систем, многие отрасли также смогут извлечь выгоду из сейсмических наблюдений.

В STRYDE мы гордимся тем, что работаем вместе с нашими партнерами над дальнейшим повышением доступности более безопасных, быстрых и экологичных сейсмических исследований.

Подробнее об авторе



Амин
Ouраба

руководитель
группы обработки
СТРАЙД

Сравнение нодального модуля SmartSolo 5Hz 3C с оборудованием Magseis Fairfield Zland 5Hz 3C на испытательном полигоне PASSCAL.

Zheng Tong, Iris PASSCAL

Введение

Представлена оценка узлов SmartSolo 5Hz 3C (SmartSolo nodes), сравнение их характеристик с нодами Magseis Fairfield Zland 5Hz 3C (Fairfield nodes) и другими распространенными датчиками на тестовом полигоне реализованном специалистами компании PASSCAL. Цель этой оценки состоит в том, чтобы измерить уровень шума приборов и определить, являются ли узлы SmartSolo 5Hz3C жизнеспособным вариантом для расширения нодального пула PASSCAL.

Результаты этого исследования показывают, что ноды SmartSolo сравнимы по своим характеристикам с оборудованием Fairfield и других тестируемых датчиков в диапазоне от 0,1 Гц до примерно 30 Гц. В этом частотном диапазоне и узлы SmartSolo, и узлы Fairfield работают тише, чем Sercel L-28. На частотах выше примерно 30 Гц на испытательных стендах PASSCAL нет когерентного движения грунта, которое можно было бы использовать для сравнения датчиков. Вариации амплитуды между узлами SmartSolos приемлемы и сопоставимы с вариациями, наблюдаемыми для отдельных нодов Fairfield.

Научно-исследовательский центр PASSCAL

Объединенный научно-исследовательский институт сейсмологии (IRIS), Центр сейсмических исследований портативных массивов Континентальной литосферы (PASSCAL) и Центр операций с массивами EarthScope USArray (AOF) в Нью-Мексико Техно поддерживают передовые сейсмологические исследования фундаментальной геологической структуры и тектонических процессов Земли. Центр предоставляет приборы для Национального научного фонда, Министерства энергетики и других организаций, реализующих сейсмологические эксперименты по всему миру. Поддержка таких экспериментов PASSCAL включает в себя предоставляемое сейсмическое оборудование, техническое обслуживание оборудования, программное обеспечение, архивирование данных, обучение, логистику и установку датчиков в местах исследования.

В табл.1 приведены данные по характеристикам датчиков, используемых в сейсмологии (по данным сайта www.passcal.nmt.edu).

Нодальные системы совмещают сейсмические датчики с регистраторами данных в одном легко развертываемом блоке. Эти устройства не требуют большого количества кабелей для подключения датчика к регистратору данных, они позволяют избежать многих серьезных проблем, связанных с кабелями, таких как неправильные типы разъемов, сломанные и пережеванные провода или поврежденные контакты. Они также намного проще в развертывании, чем обычные комбинации датчиков и регистраторов данных. Их использование может значительно сократить как время установки станции, так и количество необходимого персонала. Их меньший размер также может быть очень полезен для развертывания с использованием методов транспортировки с ограниченным объемом.

Датчик	Производитель	Энергия	Начальная частота	Затухание	Чувствительность
STS-2	Streckeisen	30 ma @ 12vdc	0.0083 Hz	0.707 critical	1500 v/m/s
CMG-3T	Guralp	70 ma @ 12vdc	0.0083 Hz	0.707 critical	1500 v/m/s
CMG3-ESP	Guralp	70 ma @ 12vdc	0.033 Hz	0.707 critical	2000 v/m/s
CMG-40T	Guralp	50 ma @ 12vdc	0.033 Hz	0.707 critical	800 v/m/s
CMG-40-1	Guralp	50 ma @ 12vdc	1.0 Hz	0.707 critical	2000 v/m/s
Trillium 240	Nanometrics	54 ma @ 12vdc	0.0042 Hz	0.707 critical	1196.9 v/m/s
Trillium 120PA	Nanometrics	54 ma @ 12vdc	0.008 Hz	0.707 critical	1201 v/m/s
Trillium Horizon 120Q	Nanometrics	41 ma @ 12vdc	0.0083 Hz	0.707 critical	1202.5 v/m/s
Trillium 40	Nanometrics	46 ma @ 12vdc	0.025 Hz	0.707 critical	1553 v/m/s
Compact Trillium	Nanometrics	14 ma @ 12vdc	0.008 Hz	0.707 critical	749.1 v/m/s
L-22-3D	Sercel (formerly Mark Products)	passive	2.0 Hz	0.707 critical	87.9 v/m/s
L-28-3D	Sercel (formerly Mark Products)	passive	4.5 Hz	0.707 critical	27.0 v/m/s
Y-28-3D	Oyo-Geospace	passive	4.5 Hz	0.707 critical	32 v/m/s
GS11	Oyo-Geospace	passive	4.5 Hz	0.707 critical	97.4 v/m/s
L-40	Sercel (formerly Mark Products)	passive	40 Hz	0.707 critical	22.34 v/m/s
L-4C	Sercel (formerly Mark Products)	passive	1.0 Hz	0.707 critical	51, 102, 171 v/m/s
S-13	Teledyne Geotech	passive	1.0 Hz	0.707 critical	629 v/m/s
Nodes	Fairfield Zland Nodal	passive	5.0 Hz	0.707 critical	77.6 v/m/s
SmartSolo	Smart Solo IGU-16HR 3C	passive	5.0 Hz	0.707 critical	76.7 v/m/s

▲ *Табл. 1. Сравнительные характеристики различного оборудования, используемого в сейсмологии.*

Наличное оборудование PASSCAL включает в себя две нодальные системы: узлы Magseis Fairfield ZL3C и блоки Smart Solo IGU-16HR 3C. Их возможности сравниваются в таблице ниже. Оба типа блоков имеют начальную частоту 5 Гц и 24-битный АЦП.

Описание исследования

Для исследования характеристик узлов SmartSolo была проведена серия тестов, в сравнении производительности узлов SmartSolo и Fairfield Zland. Окончательная схематестирования: 5 узлов SmartSolo и 5 узлов Fairfield были разме-

▼ *Табл. 2.*

Модификация	Размер	Вес	Частота дискретизации	Объем памяти
Fairfield ZLand 3C Nodes	6.4” x 4.6” x 4.6” (без 4.6” центрального датчика)	2.8 кг	250, 500, 1000, или2000 sps	32GB (500sps частота дает объем ~=388.8Mb day)
Smart Solo IGU-16HR 3C	4.1” x 3.7” x 7.4” (без геофона)	2.4 кг	250, 500, 1000, 2000, или 4000 sps	64GB (500sps частота дает объем ~=388.8Mb day)

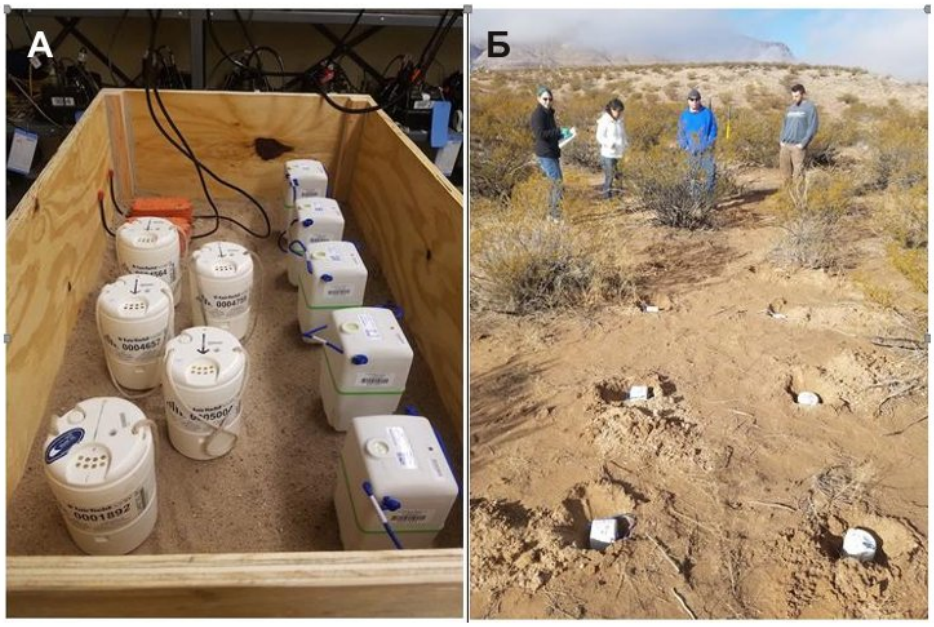


Рис. 1. Размещение датчиков: А - на испытательном стенде, Б – в грунте на тестовом полигоне.

щены внутри на испытательном стенде датчиков с Guralp CMG-3T, датчиками Sercel L-22 и Sercel L-28s с цифровыми регистраторами Reftek RT130 в качестве эталона; а 5 нодов SmartSolo и 5 нодов Fairfield были помещены в грунт в одинаковые условия снаружи здания.

Данные этого теста были использованы для характеристики производительности и амплитуды узла SmartSolo по сравнению с узлами Fairfield, Guralp CMG-3T, Sercel L-22 и Sercel L-28 геофонов. Расположение узлов SmartSolo и Fairfield на стенде и внешних датчиках показано на рис. 1а (на стенде) и рис. 1б (в грунте).

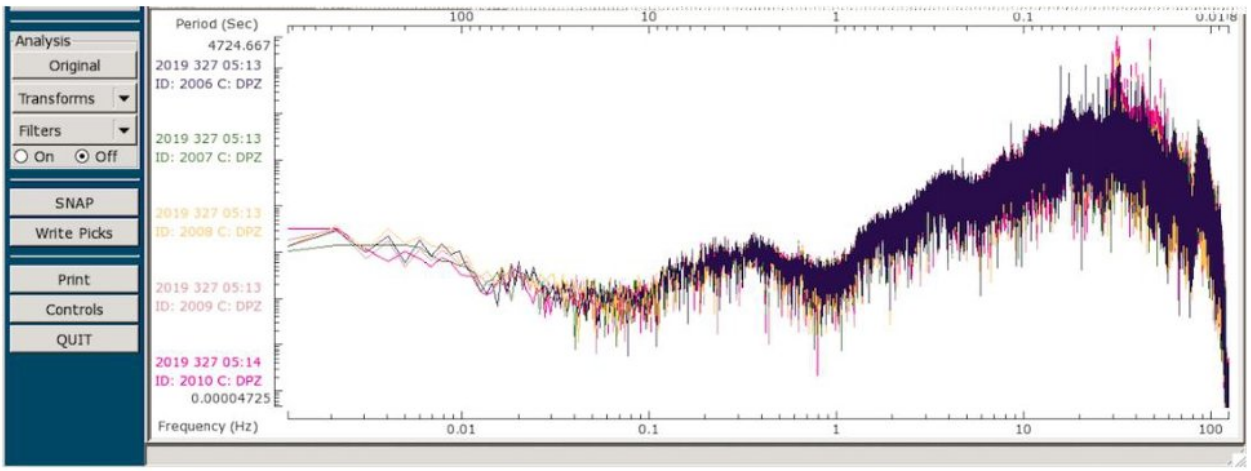
Для целей этого теста узлы SmartSolo и Fairfield были запрограммированы с использованием усиления 36 дБ при частоте дискретизации 250 с / с, самой низкой настраиваемой частоте дискретизации. Guralp CMG-3T был записан с усилением предусилителя 1 при частоте дискретизации 200 с, в то время как Sercel L-22s и L-28s были записаны с усилением предусилителя 32, максимальным настраиваемым усилением на Reftek RT130, при частоте дискретизации 200 с . Данные узла SmartSolo выводятся в виде милливольт/сек, в то время как данные Fairfield и Reftek выводятся в виде отсчетов/сек. Данные, были собраны в период с 22 ноября 2019 года по 25 ноября 2019. 23 ноября 2019 года было зафиксировано локальное землетрясение.

Анализ результатов

Анализ выполнен на вертикальных компонентах датчиков из-за возможных изменений ориентации между внутренними и внешними установками в горизонтальной плоскости. Амплитуда и шум для горизонтальных компонентов узлов SmartSolo сопоставимы с горизонтальными составляющими, регистрируемыми другими датчиками по выполненным ранее тестам.

Стендовые данные временных рядов и спектрограмма фонового шума для 5 узлов SmartSolo (идентификаторы станций с 2006 по 2010 год) представлены на рис.2. Сигналы, регистрируемые этими датчиками, когерентны в диапазоне частот от 0,1 Гц до 30 Гц. В этих данных виден микросейсм. Данные узлов начинают отличаться на частотах выше 30 Гц из-за расположения на стенде, вызывающего изменения фонового шума.

Характеристики и спектрограмма



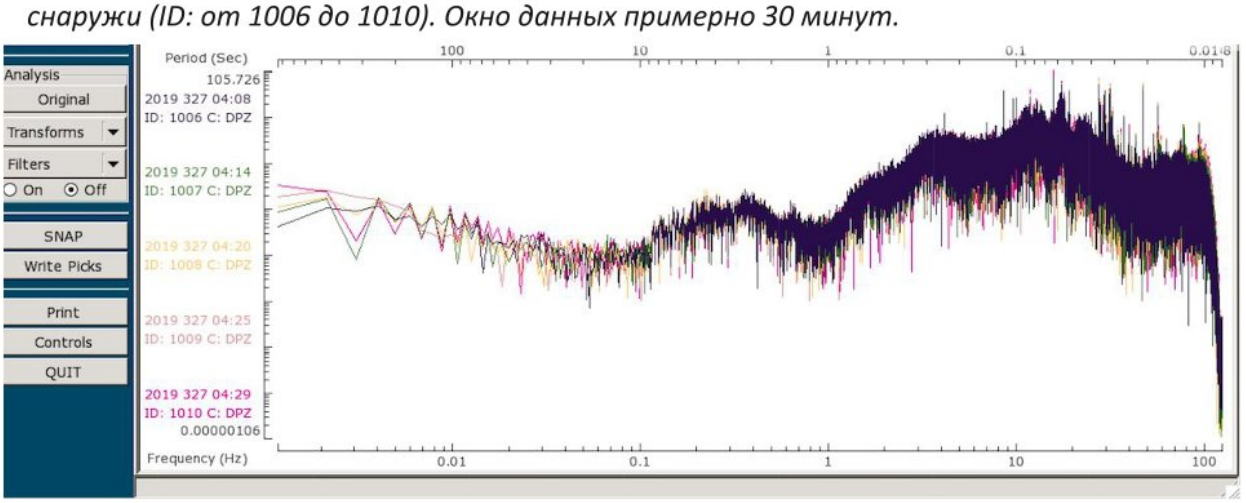
▲ *Рис. 2. Сравнение шума 5 узлов SmartSolo (без коррекции прибора), размещенных внутри на пирсе для сравнения шума (ID: 2006 - 2010). Окно данных примерно 30 минут.*

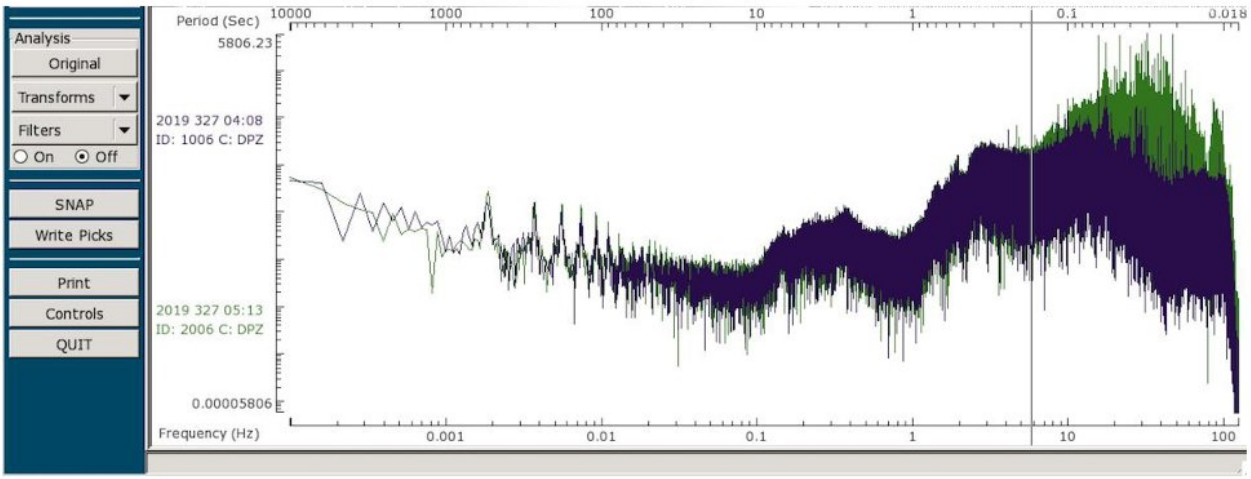
фонового шума для 5 узлов SmartSolo, расположенных снаружи (идентификаторы станций от 1006 до 1010), показаны на рис.3. Здесь также видна когерентность ниже 30Гц. Данные характеризуются более высоким уровнем микросейсм.

Станции 1006 (снаружи) и 2006 (внутри) были использованы для сравнения уровня фонового шума между двумя местоположениями узлов SmartSolo. Внешние узлы значительно тише, чем узлы пирса выше 7,0 Гц, но два узла когерентны ниже 7,0 Гц (рис. 4). Оба набора данных регистрируют микросейсм (от 0,1 Гц до 1,0 Гц). Обратите внимание, что как внутренние, так и внешние узлы SmartSolo имеют гармонический шум ниже примерно 0,01 Гц, что значительно ниже рабочего диапазона узлов SmartSolo. Этот гармонический шум не был исследован, но не связан с работой стенда из-за наличия этого шума как на внутренних, так и на внешних узлах Smartsolo, а также его отсутствия на других приборах, используемых в этом тесте.

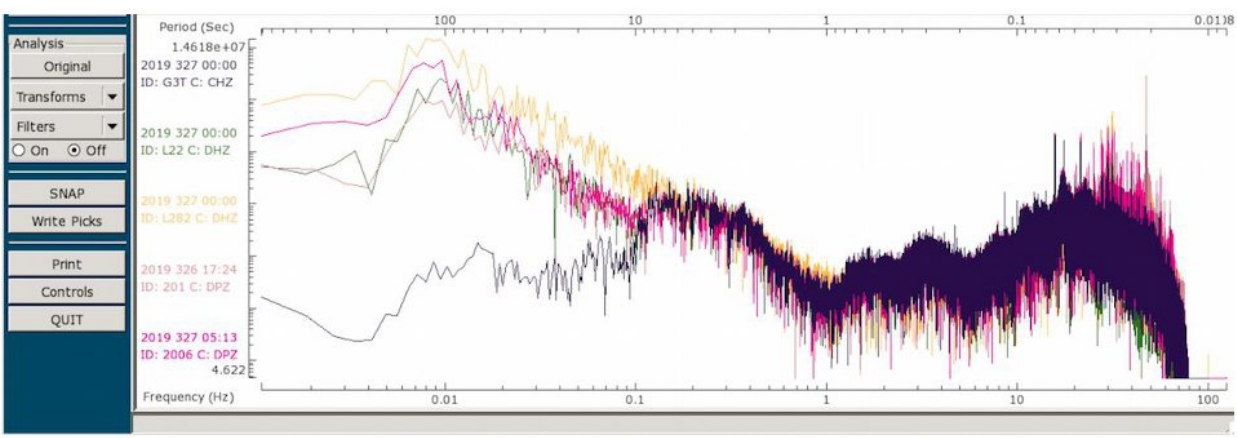
Чтобы учесть различные реакции приборов, использованных в этом тесте, данные были инструментально корректированы и сопоставлены с откликами некоторых других приборов. Скорректированные данные рассчитывались в диапазоне частот от 0,01 до 40 Гц и сужались до 0,005 Гц на нижней частоте и 80 Гц

▼ *Рис. 3. Сравнение шума 5 узлов SmartSolo (без коррекции прибора), расположенных снаружи (ID: от 1006 до 1010). Окно данных примерно 30 минут.*





▲ *Рис. 4. Сравнение шума между 1 нодом SmartSolo внутри на стенде (ID: 2006, зеленый) и 1 нодом SmartSolo в грунте (ID: 1006, синий). График рассчитан за 2 часа 45 минут, для иллюстрации шума ниже 0,1 Гц.*



▲ *Рис. 5. Данные фонового шума в сопоставлении с другими датчиками.*

на высокой. Эти границы были выбраны для того, чтобы избежать эффекта Найквиста и захватить данные до 0,1 Гц без помех со стороны конуса коррекции прибора. Для сравнения, только данные стенда для CMG-3T (ID: G3T), Sercel L-22 (ID: L22), 1 нода SmartSolo (ID: 2006), 1 нода Fairfield (ID201) и 1 Sercel L-28 (ID: L282) обсуждаются в этом отчете.

И SmartSol, и Fairfield, о которых идет речь, находились внутри на стенде вместе с другими приборами. Выводы, сделанные для этой выборки, применимы ко всем узлам SmartSolo и дням теста. Уровень фонового шума SmartSolo соответствует уровню шума узлов Fairfield, датчиков CMG-3T и Sercel L-22 в диапазоне от 0,1 до 30 Гц на стенде. Уровень шума для L-28 намного выше, чем у этих датчиков ниже 0,1 Гц и выше, чем у других около 1 Гц, где окружающий шум низкий (рис.5).

Сравнение амплитуд на Рисунке 5 за тот же 30 - минутный период времени, что и на рисунках 2 и 3 показывают, что нод SmartSolo (ID: 2006, розовый) более шумный, чем нод Fairfield (ID: 201, лиловый) на частотах ниже 0,01 Гц, что значительно ниже интересующего частотного диапазона. Sercel L-28 (ID: L282, желтый) более шумный для частот ниже 0,1 Гц. CMG-3T (ID: G3T, синий) и L-22 (ID: L22, зеленый) также нанесены на график. Амплитуды узлов SmartSolo по сравнению с датчиком CMG-3T на стенде являются правильными и согласованными

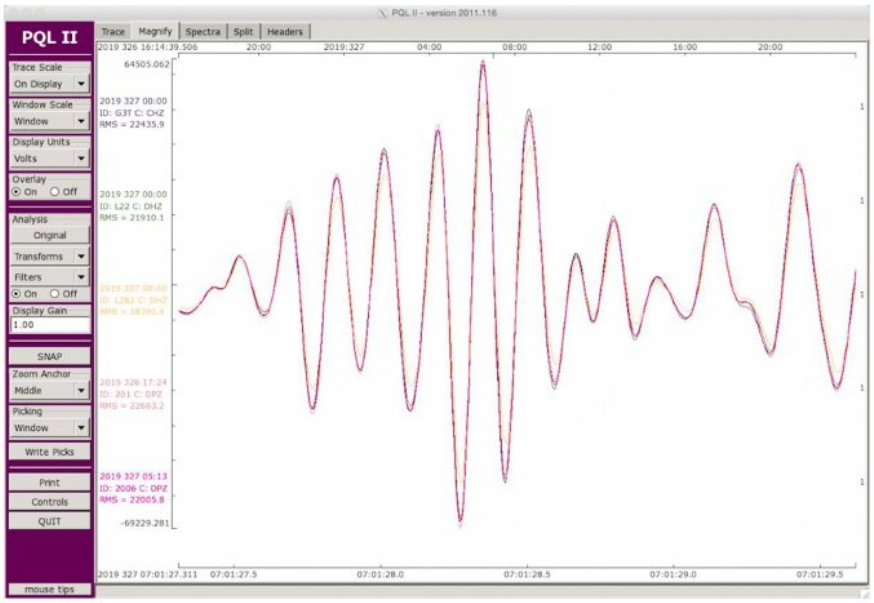


Рис. 6. Сопоставление амплитуд сигналов различных датчиков при регистрации землетрясения. (Та же цветовая схема, что и на рис.5.)

для данных в полосе микросейсмичности от 0,1 до 0,6 Гц. Для проверки амплитуд узлов SmartSolo в диапазоне от 1 до 6 Гц было использовано локальное землетрясение. Самая высокая амплитудная часть землетрясения подтверждает правильность амплитуды и фазы узлов SmartSolo (Рис. 6). Отметим, что амплитуда L-28 примерно на 18% ниже по сравнению с другими датчиками на тестовом стенде.

Выводы

Ноды SmartSolo работают так же хорошо, как и ноды Fairfield, в диапазоне от 0,1 до 30 Гц и могут быть рекомендованы для сейсмологических работ. Кроме того, узлы SmartSolo выгодно отличаются от Guralp CMG-3T и Sercel L-22 в этом диапазоне и являются более тихими, чем Sercel L-28.

Подробнее об авторе



Zheng Tong

Iris PASSCAL

Имеет ли реальное время значение?

Кузьмичев В., Wireless Seismic

В последние годы на рынке бескабельных технологий в сейсморазведке произошли значимые изменения. Существенным прогрессом стал переход от разработок и небольших тестовых экспериментов к полномасштабному использованию такого типа оборудования на производственных коммерческих проектах. Это касается и морских, и наземных работ. Однако, в этой статье мы хотели бы коснуться именно наземной сейсморазведки. Бескабельные технологии продемонстрировали повышение эффективности работы сейсмопартий, снижение воздействия на окружающую среду, уменьшения рисков безопасного ведения работ в сравнении с кабельными системами.

Почему кабельные системы так долго доминировавшие на нашем рынке, постепенно сдают свои позиции?

Кабельные системы дают возможность полного контроля над сейсмической расстановкой, моментальный доступ к тестам оборудования, к получаемым сейсмическим данным, что важно для полного контроля на всех этапах и позволяет оперативно реагировать на возникающие ситуации и оперативно изменять параметры регистрации во время работы. Порой просто останавливая работы, когда высокий уровень шумов, превышающий установленные допуски. Но сама основа системы, дающая эти возможности, является и её основным минусом, и болевой точкой. Это кабель с концевыми разъёмами, который рвётся при смотке/размотке, страдает от грызунов, требует организации «ворот» и «переездов» в местах пересечения с транспортными путями. Концевые разъёмы изнашиваются, окисляются, затекают и теряют контакт, что требует дополнительной наладки в поле, устранения разрыва или замены повреждённого участка. Нельзя не отметить, что кабель составляет бóльшую часть от веса и объёма сейсморегистрирующей системы и требует бóльших транспортных и людских ресурсов при перевозке, перемотке, наладке. При обрыве телеметрии во время отстрела, происходит частичная или полная потеря данных. Необходимо полностью останавливать работу до устранения причины с выездом на место потери связи.

Со всем этим приходилось мириться при отсутствии технологий, позволяющих полноценно заменить кабель. Но, также как и в других областях, прогресс не стоит на месте. Самый примитивный, но показательный пример — это развитие телефонов (проводной/радио), а чуть позже проводной/беспроводной интернет. Да, сегодня уже никто не вспомнит как мы подключались через модемы... Изначально эти технологии были очень дороги, но с каждым годом модернизация становилась всё проще и дешевле. И, по большому счёту, такой же процесс технологической эволюции мы видим в сейсморазведочной отрасли. Произошло не только развитие самой технологии - от слепой записи, к полуслепой (с передачей статусов полевых модулей) и далее - к предоставляющей возможность видеть, получать данные и контролировать «поле» в реальном времени, но и сокращение стоимости применяемой аппаратуры. Это то, что лежит на поверхности, но есть ещё моменты, которые становятся очевидными уже при использовании этой технологии, которые мы бы хотели здесь обсудить.



▲ *Рис. 1. Установка WRU ,бескабельного полевого регистрирующего блока RT2.*

Какая разная бескабельная аппаратура

Сейчас можно говорить о делении существующего на рынке бескабельного оборудования на три основных категории. Первая, системы без возможности передачи данных и статусов. Вторая, слепые системы с возможностью передачей статусов, так называемые полуслепые. И третья категория, бескабельные регистрирующие радиотелеметрические системы с полным онлайн контролем расстановки и получением данных оператором сейсмостанции в реальном времени без дополнительных операций, на данный момент только одна система представлена в этой категории.

По бескабельным системам уже было написано много статей, было множество выступлений и дискуссий. Не имеет смысла говорить о точных цифрах экономии от использования той или иной системы, т. к. для получения реальной разницы, необходимо отработать один и тот же проект в одном и том же месте с полностью идентичными условиями несколькими представленными на рынке технологиями. Такое представить, а тем более осуществить, фактически невозможно. Но спустя 4 года с тех пор, как были осуществлены первые полномасштабные проекты в Российской Федерации с использованием бескабельной системы с регистрацией в реальном времени и немногим меньше с начала применения слепых или полуслепых бескабельных систем, далеко не в тестовом режиме, мы можем подвести некий итог и дать предварительные оценки и сравнения опираясь уже не на теорию, но на практику.

Давайте обратим внимание на некоторые нюансы, которые необходимо учитывать при использовании существующих бескабельных технологий.

Первый: обеспечение питания модулей является очень важной задачей, особенно в условиях крайнего севера, где ёмкость батареи снижается из-за низких температур. Все бескабельные технологии используют, в той или иной форме, батареи на каждом пункте регистрации.

Здесь есть несколько аспектов, влияю-

щих на производственный процесс, это возможность быстрой замены батареи в поле, и возможность контролировать ёмкость батарей с сейсмостанции в режиме реального времени.

Встроенная в каждый модуль батарея - наиболее часто используемый способ в бескабельных системах, данное оборудование необходимо перемещать в базовый лагерь на зарядку. Что требует приобретения бóльшего количества каналов, для компенсации находящихся на зарядке.

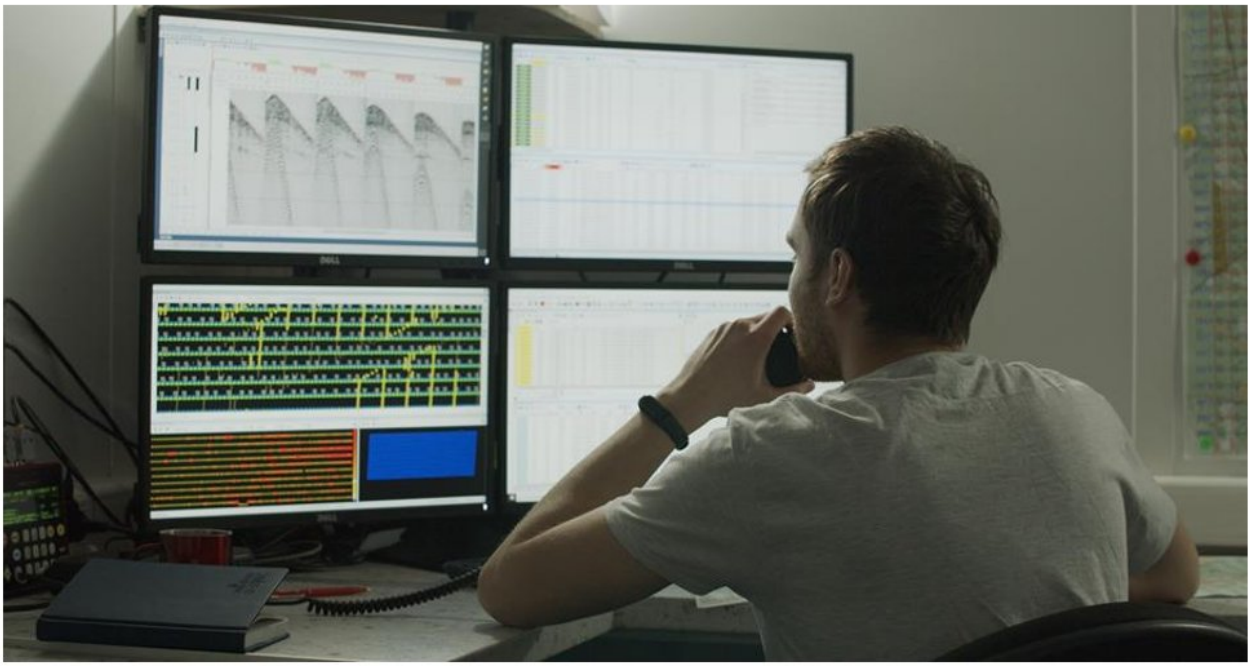
В системе, где используются съёмные батареи достаточно иметь запас в 10 % аккумуляторов, которые и входят в базовую комплектацию. В этом случае процесс работы значительно упрощается, батареи легко заменить, например, при очередной смене линии, по пути от профиля, который собран, на тот, который предстоит разложить. Здесь мы, как минимум, получаем меньший километраж пробега транспорта, а как максимум, исключаем дополнительные ТС вместе с обслуживающим его персоналом.

Другой аспект: «слепые» нодальные системы не обеспечивают возможность контролировать ёмкость батарей с сейсмостанции, и операторы вынуждены использовать более ёмкие батареи, чем это требуется в полуслепых системах или в системах с полным контролем полевого оборудования в режиме реального времени. Увеличение ёмкости батарей приводит к увеличению стоимости, веса и объёма оборудования, что в свою очередь ведёт к увеличению затрат на логистику.

Кто-то может возразить, что встроенные аккумуляторы имеют бóльшую ёмкость и соответственно бóльшее время работы. Но на автономность в значительной степени влияет энергоэффективность оборудования и возможность оператора управлять расстановкой «онлайн», где автономность будет скорее результатом его квалифицированного выбора режима работы блоков.

Приводить конкретные сравнения во времени между автономностью у разных технологий не совсем корректно по тем же причинам, что и при расчёте экономии, но на основании результатов полевых работ в условиях Западной Сибири, можно сказать, что заявленная автономность слепых систем - приближается к 30 дням, а системы с реальным временем - около 25 дней. Меньше, но сопоставимо. Но надо отметить, что статистика по системе с реальным временем более обширна, так как таких систем и каналов в использовании гораздо больше, чем слепых.

Второй нюанс связан с получением зарегистрированных данных. Объединяющей особенностью слепых и полуслепых бескабельных систем является то, что сейсмические данные хранятся локально во флэш-памяти, содержащейся в каждом регистраторе. Для их считывания, в большинстве случаев, необходимо либо посещать каждый модуль непосредственно в поле, либо перевозить модули в базовый лагерь. Таким образом, временные интервалы между записью данных и оценкой их качества длятся от нескольких дней до нескольких недель. Это может привести к неприятным сюрпризам, когда будет обнаружено несоответствие данных требуемому качеству или вообще, отсутствие записанных трасс, и, как следствие, к дорогостоящим переработкам. Кроме того, ручной сбор данных увеличивает количество транспорта и персонала сейсмопартии, и соответственно увеличивает расходы и ухудшает безопасность при производстве работ. Это в свою очередь нивелирует экономию ресурсов, достиг-



▲ *Рис. 2. Контроль работы расстановки и проверка данных после регистрации в режиме реального времени в RT2.*

нутую в процессе расстановки системы наблюдения. Это особенно важно, в связи со значительным увеличением количества активных каналов на современных сейсмических проектах. Ввиду того, что сбои в работе наземной электроники могут привести к рискам потери данных, некоторые пользователи таких систем стараются минимизировать их путём развёртывания бóльшего количества оборудования, для обеспечения достаточного количества пишущих каналов в окончательном наборе данных, что требует бóльших капиталовложений, как на регистрирующую аппаратуру, так и на обработку полученного материала. И так же снижает экономический эффект перехода на бескабельные системы.

Вывод очевиден - чтобы отпала необходимость в дополнительных ПП на профиле, оператор должен иметь возможность всегда контролировать состояние работы полевых модулей и гарантировать, что сбои будут немедленно устранены, а получаемые данные достаточного качества.

При работе с бескабельной системой в режиме реального времени, исключены дополнительные операции по считыванию данных, без которых не обойтись, работая с нодальными системами. В радиотелеметрической системе RT2 проблему со сбоем блока во время записи можно увидеть и устранить, не выходя из сейсмостанции. Система автоматически организует обход нерабочего узла, восстановит связь с остальными модулями и продолжит запись и передачу данных. При этом, на нерабочем узле будет активирована встроенная технология HRT (гибридная телеметрия), данные будут записаны в сам полевой модуль и впоследствии автоматически переданы на сейсмостанцию после восстановления связи.

При этом на полевом ВЦ не будет необходимости в дополнительных действиях и все трассы автоматически встанут на то месте, где им и положено быть. Что это значит при производстве работ? Во-первых, будет сокращение непроизводственного времени, которое

в условиях, когда зимние сезоны становятся все короче, имеет приоритетное значение. Во-вторых, не будет выезда транспорта с персоналом на наладку, не будет лишнего расхода топлива, не будет лишнего выброса в атмосферу, не будет лишнего шума на профиле. Останутся только качественные данные. Бескабельная система, работающая в реальном времени, также представляет возможность обработки сейсмических данных непосредственно после регистрации для более детального анализа качества набора данных и возможности изменения параметров записи в сложных геологических районах. Кроме того, гибкость системы, свободной от кабелей и передающей данные в режиме реального времени, даёт возможность контролировать гидроразрыв пласта и обеспечивать обратную связь с флотом ГРП, для более эффективного управления процессом.

Ещё один нюанс, это размер активной расстановки. Компактные нодальные системы со встроенным сенсором не смогут принести адекватные результаты при больших шагах ПП, но не имеют каких бы то ни было ограничений по количеству активных каналов. У радиотелеметрической системы нет ограничений по шагу ПП из-за возможности подключения внешнего сенсора или группы, но надо отметить, что использование радиотелеметрии наиболее эффективно при расстановке от десятков до 20 тысяч каналов. Такие параметры отвечают большинству, но не абсолютно всем проектам в нашей стране.

И немного о «Зелёной Сейсмике®»

Сначала на тестовых работах, ещё в далёком 2014 году, было показано и доказано, что радиотелеметрическая система в режиме реального времени без проблем работает, а именно регистрирует и передаёт данные в режиме реального времени на профилях без рубки или с существенным сокращение её объёма. И последующие годы это только подтвердили. Посчитать экономический эффект можно, но в разных условиях и на разных проектах цифры будут существенно отличаться. Но они однозначно покажут экономию и средств, и времени. Также невозможно посчитать средние показатели по уменьшению несчастных случаев, которые наиболее часто происходят именно при рубке.

Любая из существующих систем имеет свои ограничения. Так, нодальные системы хорошо себя зарекомендуют на проектах высокоплотной съёмки, где требуется очень большое количество каналов, десятки тысяч с минимальным шагом ПП. Таким образом, при выборе регистрирующего оборудования, необходимо взвешивать не только плюсы и минусы. Отдавая предпочтение тем системам, которые наиболее полно объединяют в себе плюсы кабельных и бескабельных технологий, т. е. обеспечивают бескабельную передачу данных, контроль шумов и полевого оборудования в режиме реального времени, повышая операционную эффективность, наряду со снижением рисков при производстве работ, а также предоставляя гарантии того, что записанные данные имеют высочайшее качество.

Поэтому если говорить о единственной на сегодняшний день радиотелеметрической системе, работающей в режиме реального времени, RT2 от Wireless Seismic, которая одновременно исключа-



Рис. 3. Когда не нужны широкие просеки. Подготовка расстановки системы RT2.

ет неудобства при работе с кабелем и при работе с нодальными слепыми и полуслепыми системами на большинстве, но не абсолютно на всех типах проектов.

Опыт использования RT2 показал, что в сравнении с другими применяемыми технологиями, можно говорить об увеличении эффективности в зависимости от сложности проекта. Выше сложность проекта – больше сравнительная эффективность.

Особенно это проявляется в городских, техногенных, горных, лесных и сельскохозяйственных областях.

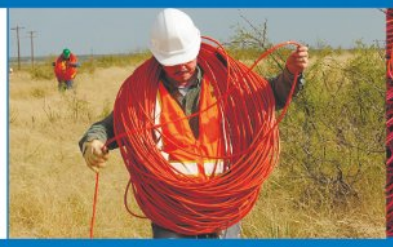
Подробнее об авторе



Кузьмичев
Владислав

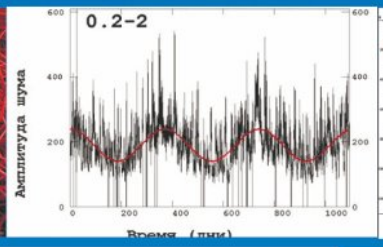
Глава
Представительства
Wireless Seismic

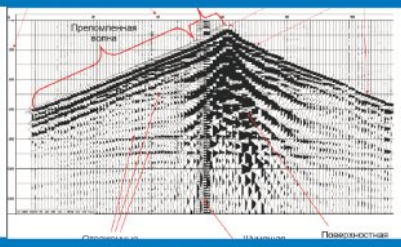
КАБЕЛЬНЫЕ СИСТЕМЫ





СЛЕПЫЕ СИСТЕМЫ







ВЫХОД ЕСТЬ!

wirelessSEISMIC



НАДОЕЛИ КУЧИ КАБЕЛЕЙ?
СЛОЖНОСТИ РАЗМОТКИ?
ДОЛГАЯ НАПАДКА?

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНАЯ БЕСКАБЕЛЬНАЯ РЕГИСТРИРУЮЩАЯ СИСТЕМА РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ RT2

ШУМНО ИЛИ НЕТ?
КАК ТАМ С КАЧЕСТВОМ?
ТЕСТЫ В ДОПУСКЕ?

Беспроводные технологии передачи данных
Любые расстояния между приёмными пунктами

Мониторинг ГРП
Непрерывная регистрация микросейсма в реальном времени
Гарантия сохранности данных



Технологии Зелёной Сейсмики
Возможность полностью обойтись без рубки сейсмических профилей





www.wirelessseismic.com
Москва, Проспект Мира, 106
Тел. +7 926 262 6071

ВРЕМЯ ИМЕЕТ ЗНАЧЕНИЕ – РЕАЛЬНОЕ ВРЕМЯ

Беспроводная регистрирующая система STRYDE – будущее наземной сейсморазведки

■ Твердохлебов Д.Н., Гуренцов Н.Е., ООО «РН-Эксплорейшн»
■ Аблязина Д.И., Давыдова Е.А., ПАО «НК «Роснефть»
■ Колескин Д.С., ПАО «Самаранефтегеофизика»
■ M. Popham, C. Einchcomb, A. Ourabah (STRYDE)

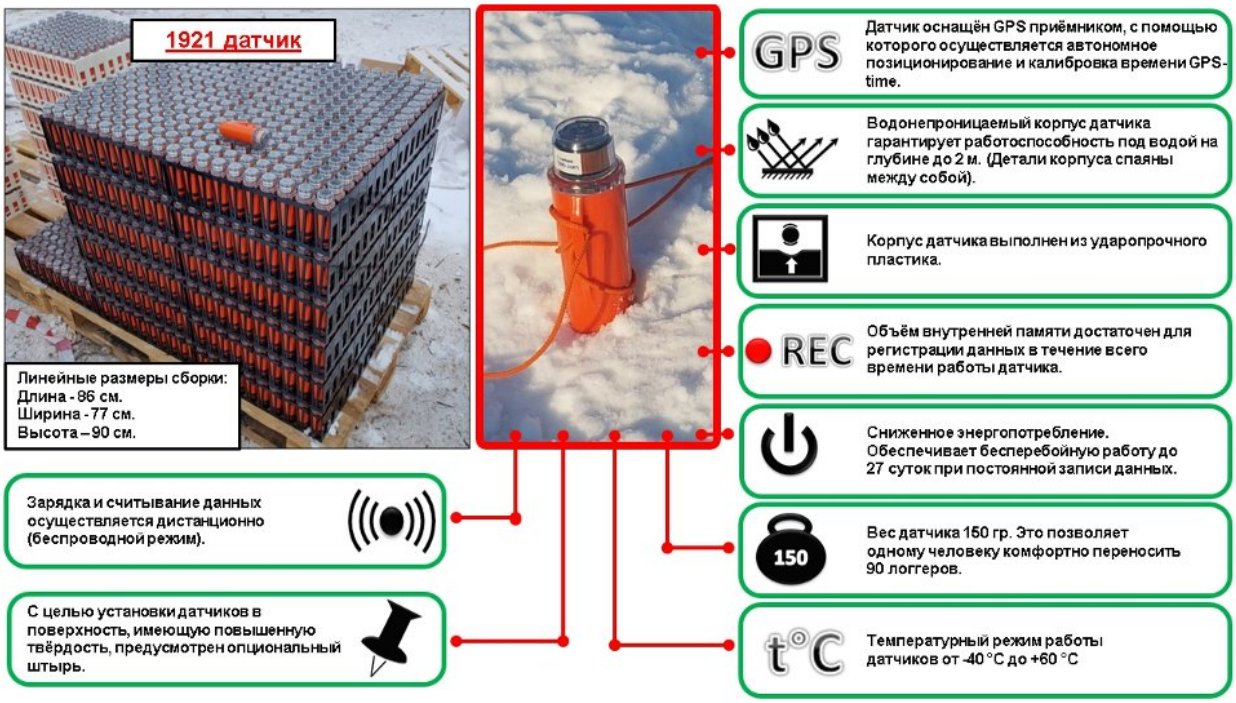
Статья посвящена обзору беспроводной регистрирующей системы STRYDE для проведения полевых сейсморазведочных работ. В статье рассматриваются основные технические характеристики беспроводных единичных датчиков, особенности планирования и проведения полевых сейсморазведочных работ с их использованием, а также история развития датчиков STRYDE Node и перспективы их использования на территории РФ.

Введение

В настоящее время для эффективного проведения геологоразведочных работ (ГРР) требуется выполнение масштабных и качественных сейсморазведочных работ 3D (СРР 3D). Растущие потребности отрасли требуют получения высококачественных сейсмических материалов, особенно для задач сейсмической интерпретации (для выделения малоамплитудных и литологических ловушек, прогноза фильтрационно-емкостных свойств (ФЕС), выполнения инверсионных преобразований, AVO-анализа и т.д.). Поскольку резерв повышения качества сейсмических данных при использовании стандартных полевых методик СРР 3D ограничен, возникает необходимость применения новых технологий получения данных.

Увеличение плотности системы полевых наблюдений – одно из основных направлений повышения качества сейсмических материалов. На текущий момент выполнение наземных высокоплотных СРР 3D с использованием стандартного регистрирующего оборудования имеет ряд существенных ограничений: большой объем и вес кабельного регистрирующего оборудования, высокая стоимость полевых работ и технологическая сложность их выполнения, необходимость значительного объема рубки просек, низкая производительность и сезонность проведения работ, сложность последующей обработки большого массива данных. Ограничения стандартных систем наблюдения можно нивелировать за счет применения современных технологий бескабельной регистрации, однако, доступное на рынке оборудование характеризуется высокой стоимостью и технологическими сложностями в эксплуатации. Переход от текущих кабельных систем к бескабельным станет возможным прежде всего за счет разработки и внедрения легкой, мобильной и сравнительно недорогой регистрирующей бескабельной системы.

В период с 2016 по 2019 год ПАО «НК «Роснефть» совместно с BP и Schlumberger разработала полностью автономное беспроводное регистрирующее оборудование (ранее известное как «Nimble Node», «Cheetah» или «Гепард»), которое представляет собой единичный пьезоэлектрический акселерометр [3,5,6,7]. С 2019 года промышленная версия регистрирующего оборудования стала называться «STRYDE», в настоящее время продолжается разработка технологии и коммерциализация системы. На Рис. 1. приведены основные особенности и преимущества инновационных



▲ *Рис. 1. Особенности и преимущества инновационных беспроводных датчиков STRYDE Node.*

беспроводных датчиков STRYDE Node. На данный момент оборудование производится в промышленном масштабе, и успешно выполнены опытно-производственные работы на территории Норвегии, Арабских Эмиратов и Западной Сибири [12,13].

Испытания датчиков и опытно-производственные работы

На первом этапе было выполнено лабораторное тестирование беспроводных датчиков для оценки функциональности и корректности их работы при низких отрицательных температурах, продолжительности работы батареи при различных температурах, производственных показателей по зарядке датчиков и считыванию данных за 24 часа, работы программного обеспечения для выгрузки и подготовки зарегистрированного материала и др.

На втором этапе был проведен ряд полевых испытаний в различных регионах для решения технических и технологических задач. Первые полноценные полевые испытания были выполнены в марте 2017 года в Норвегии с использованием 100 датчиков Nimble Node. Проведено исследование различных способов раскладки оборудования (было протестировано более 25 способов, в том числе, без штыря, со штырем, глубоко в снегу, на снегу, неглубоко в снегу, с помощью специального шеста для установки, пешком, на снегоходе и др.). Результаты тестирования подтвердили функциональность датчиков при отрицательных температурах и стабильную регистрацию сигнала, независимо от способа раскладки. Результаты тестирования также позволили сделать вывод, что даже при значительном (около 1-2 м) снежном покрове беспроводные датчики имеют стабильные амплитудно-частотные характеристики при регистрации данных и позволяют провести их уверенное позиционирование на местности.

В октябре 2017 года были проведены опытные работы в Абу-Даби с использо-

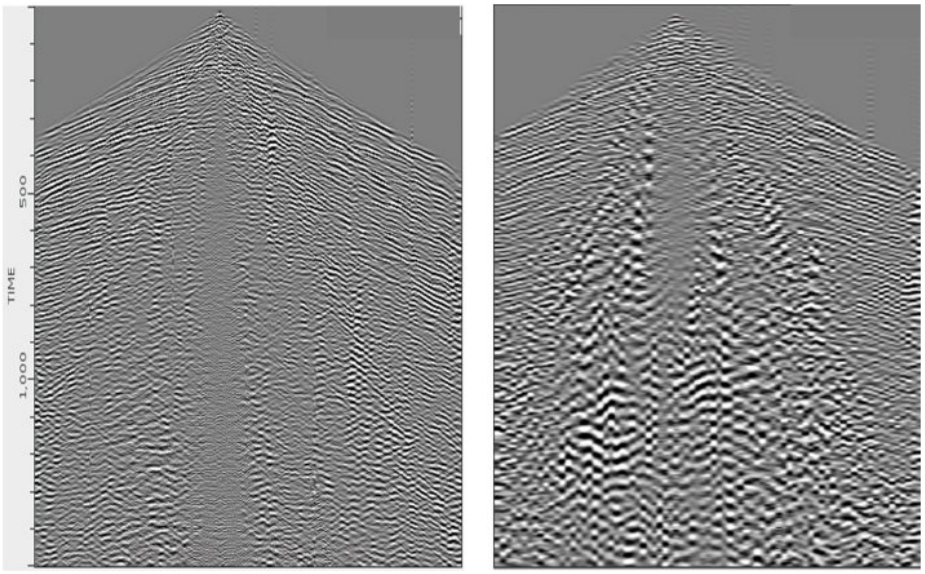


Рис. 2. Сравнение сейсмограмм после применения FK-фильтра с применением единичных датчиков Nimble Node (слева) и стандартной кабельной системы с 12 геофонами в группе (справа)

ванием 1000 датчиков Nimble Node. Основной задачей тестирования было сравнение сейсмического изображения, полученного с применением беспроводной системы Nimble и с помощью других кабельных систем регистрации – единичного проводного датчика, группы из 12-ти проводных геофонов и группы из 6-ти проводных геофонов (Рис. 2). Дополнительно были изучены скорости раскладки, сбора и выгрузки данных, зарядки датчиков в условиях пустыни. Усредненные показатели раскладки регистрирующего оборудования составили 38 секунд при шаге пунктов приема 12,5 м.

В 2018 году была выполнена первая полномасштабная 3D съемка с использованием 8800 датчиков Nimble Node в Западной Сибири. Основные задачи тестирования заключались в сравнении сейсмического изображения, полученного при регистрации беспроводной системой, с изображением, зарегистрированным с помощью стандартной кабельной системы, а также определении путей улучшения оборудования за счёт его эксплуатации в реальных условиях производственной съёмки. Работы проводились в сейсмогеологических условиях Западной Сибири при отрицательных температурах и густой залесенности местности. При отработке площади использовались как классические кабельные системы регистрации стандартной плотности, так и высокоплотная съемка с единичными беспроводными датчиками Nimble Node при десятикратном сгущении пунктов приема (ПП). При этом беспроводные датчики размещались с шагом по ПП=5 м на тех же приемных линиях, что и группы из 12-ти геофонов с шагом ПП=50 м. Использование двух типов регистрирующего оборудования позволило оценить эффект от выполнения высокоплотных работ на этапе сбора, обработки и интерпретации сейсмических данных.

В ходе полевых работ было уточнено, что при использовании датчиков Nimble Node, можно значительно сократить усилия по подготовке приёмных линий как за счёт характеристик самой системы, так и за счёт оптимизации технологического процесса. В частности, работа с беспроводными датчиками позволила уменьшить количество персонала в бригаде с 4-х до 2-х человек, а также наладить установку/сбор датчиков в один проход и в одном направлении без постоянного присутствия технологичес-

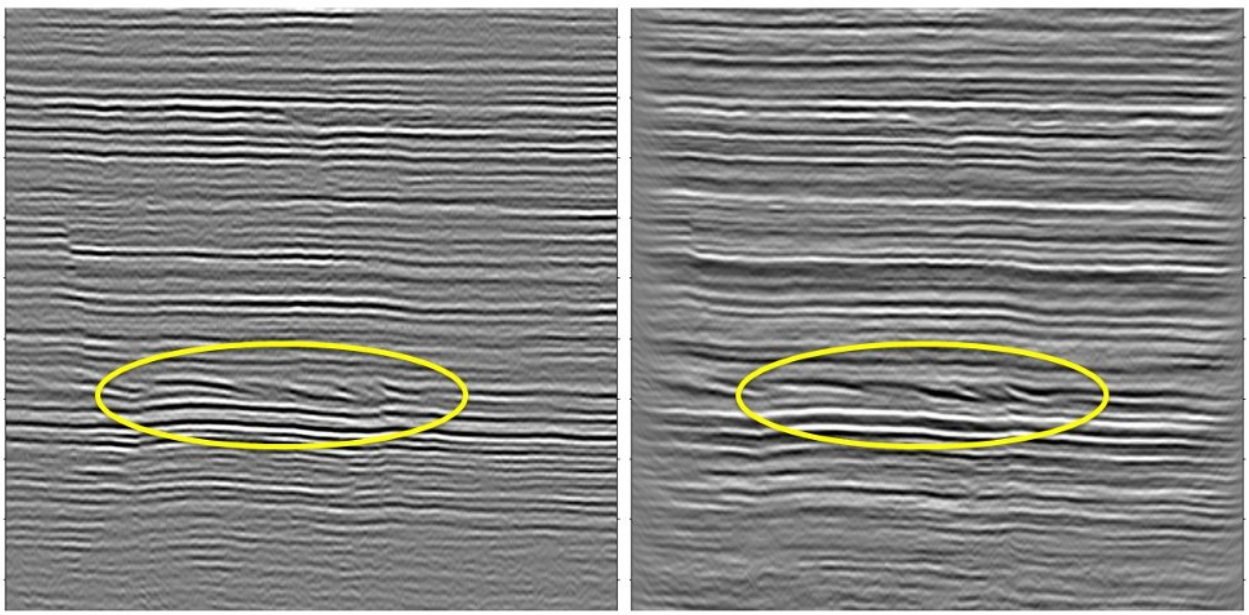


▲ *Рис. 3. Выполнение опытно-производственных работ в Западной Сибири с использованием беспроводных единичных датчиков Nimble Node.*

кого транспорта в непосредственной близости от бригады. Одна бригада способна единовременно переносить до 90 датчиков в специализированном рюкзаке, сконструированном таким образом, чтобы распределить нагрузку и обеспечить максимально комфортные условия работы (Рис .3). Среднее время на установку одного датчика составляло 24 секунды при расстоянии 5 м между проектными позициями. Ещё одним безусловным плюсом новой нодальной системы является то, что она не требует последующей наладки сейсмических профилей, что, безусловно, влияет на время начала возбуждения и регистрации данных. В текущей конфигурации система позволяла подготовить к повторной установке приемники в количестве 1300 в течение 6 часов.

Система рассчитана на работу с сотнями тысяч регистрирующих каналов, что с учетом их характеристик позволяет выполнять высокоплотные СРР 3D с высокой эффективностью. Практика показывает, что увеличение плотности данных позволяет существенно увеличить качество результативной информации как за счет большего количества информации, вносящего вклад в окончательный результат, так и за счет увеличения эффективности работы алгоритмов обработки данных.

Совместная обработка результатов опытно-производственных работ выполнялась специалистами ООО «РН-Эксплорейшн» с участием специалистов BP. Данные, полученные с применением классической кабельной системы наблюдения и единичных датчиков, обрабатывались параллельно с применением единого графа. В ходе обработки тестировались алгоритмы расчета и коррекции статических поправок, сигнальной обработки данных. Использование высокоплотных данных существенно повышает эффективность работы процедур расчета и коррекции статических

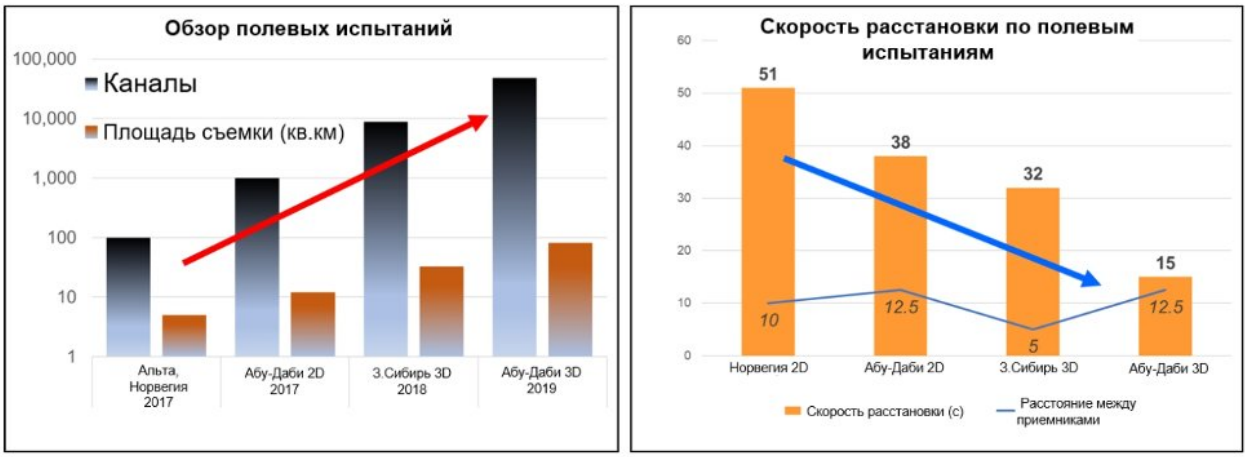


▲ *Рис. 4. Архивный сейсмический разрез со стандартным оборудованием после PSTM, размер бина – 25х25 м (слева) и разрез полевой обработки с оборудованием Nimble Node после PSDM, размер бина – 6,25х6,25 м (справа).*

поправок за счет большей статистики. Аналогичный эффект наблюдается и при сигнальной обработке. Высокоплотные данные имеют более высокую пространственную дискретизацию, на сейсмограммах практически отсутствует эффект аляйсинга, что ведет к более корректной и эффективной работе процедур шумоподавления. Анализ результатов обработки показывает существенное повышение детальности сейсмических данных, расширение динамического диапазона, повышение соотношения сигнал/помеха по площади с применением единичных датчиков как в верхней части разреза (ВЧР), так и в целевом интервале [13].

В марте-апреле 2019 года были выполнены полномасштабные опытные работы 3D в Абу-Даби с использованием 50855 датчиков Nimble Node. Основными задачами работ являлись тестирование системы считывания и зарядки беспроводных датчиков при высокой загрузке (около 10000 датчиков в день) и определение возможности улучшения сейсмического изображения сложных стратиграфических построек (клиноформ) за счет повышения плотности сейсмических наблюдений. Усредненные показатели раскладки регистрирующего оборудования составили 15 секунд на один датчик при шаге пунктов приема 12,5 м. При проведении полевых испытаний было установлено более 500 000 датчиков за 53 дня, и были получены сейсмические данные с плотностью 184 млн. сейсмотрасс/км^2 на площади 81 км^2 (Рис. 4) [11].

Проведенные лабораторные тесты и опытно-производственные работы способствовали существенной модернизации датчиков от первого прототипа до финального коммерческого продукта за короткий период времени (около 3-х лет). Все полевые испытания были проведены в сложных условиях (150 000 человека-часов) без происшествий в области промышленной безопасности, охраны труда и окружающей среды. Система регистрации данных совершенствовалась в ходе каждого полевого испытания, в результате чего удалось добиться



▲ *Рис. 5. Результаты полевых испытаний датчиков STRYDE Node.*

времени раскладки 15 секунд на опытных работах в Абу-Даби в 2019 году (Рис. 5) [10]. В результате многочисленных тестов система беспроводной регистрации Nimble Node показала свою готовность к промышленной эксплуатации. Компания «STRYDE» в настоящее время коммерциализирует систему, которая доступна для аренды или покупки и уже использовалась в нескольких коммерческих проектах по всему миру с момента выхода на рынок в 3 квартале 2019 года.

Предпосылки для успешного использования беспроводных датчиков STRYDE Node на территории РФ

В современной геофизической практике специалисты-геологоразведчики повсеместно сталкиваются с необходимостью анализа и компенсации искажающего влияния аномалиеобразующих объектов различной природы как в верхней части разреза (ВЧР), так и в целевых интервалах для повышения качества сейсмического изображения. Например, такими объектами являются многолетнемерзлые породы (ММП) и зоны растепления в Западной Сибири, интрузивные и эффузивные тела в Восточной Сибири, а также эвапориты в интервале разреза в Поволжье. При этом известные геофизические подходы и технологии в области восстановления изображения строения ВЧР не всегда позволяют прогнозировать характеристики и геометрию аномалиеобразующих объектов и имеют многочисленные ограничения и допущения. В то же время, недоучет подобных аномалий приводит к ошибкам в обработке и интерпретации данных и к снижению успешности бурения поисково-разведочных скважин. Поэтому учет и компенсация подобных аномалий на различных этапах геологоразведки становятся приоритетной задачей в регионах со сложными приповерхностными сейсмогеологическими условиями.

Для компенсации подобных аномалий требуется кропотливая работа с ВЧР, в частности построение детальной скоростной модели посредством рефракторной статики, томографии или FWI [2]. В свою очередь, для корректного статического решения необходима достаточно высокая кратность и плотность данных на уровне верхних опорных горизонтов. Использование беспроводных единичных датчиков на этапе полевой регистрации дает возможность перейти к высокоплотным полевым системам наблюдения, которые позволят получать качественное сейсмическое изображение, в том числе в ВЧР, и компенсировать влияние скоростных аномалий на целе-

вые горизонты на этапе обработки данных.

Большие сложности вызывает получение качественного сейсмического материала в регионах с резкими перепадами рельефа (например, горные надвиго-складчатые зоны Кавказа или участки в районе речных систем в Восточной Сибири), где зачастую не удается расположить пункты приема или возбуждения, что в дальнейшем приводит к отсутствию части сейсмической информации, и в регионах со сложным тектоническим строением (о. Сахалин, п-ов Таймыр и др.).

Применение беспроводных единичных датчиков в районах со сложным тектоническим строением позволит лучше сфокусировать отражения, повысив детальность изображения в разломных зонах, и точнее выделить разрывные нарушения на суммарных данных на этапе интерпретации за счет высокой плотности трасс и пространственной дискретизации сейсмических данных. В районах с резкими перепадами рельефа применение беспроводных единичных датчиков позволит частично минимизировать пропуски в полевой системе наблюдения за счет технологических особенностей раскладки и установки беспроводного регистрирующего оборудования.

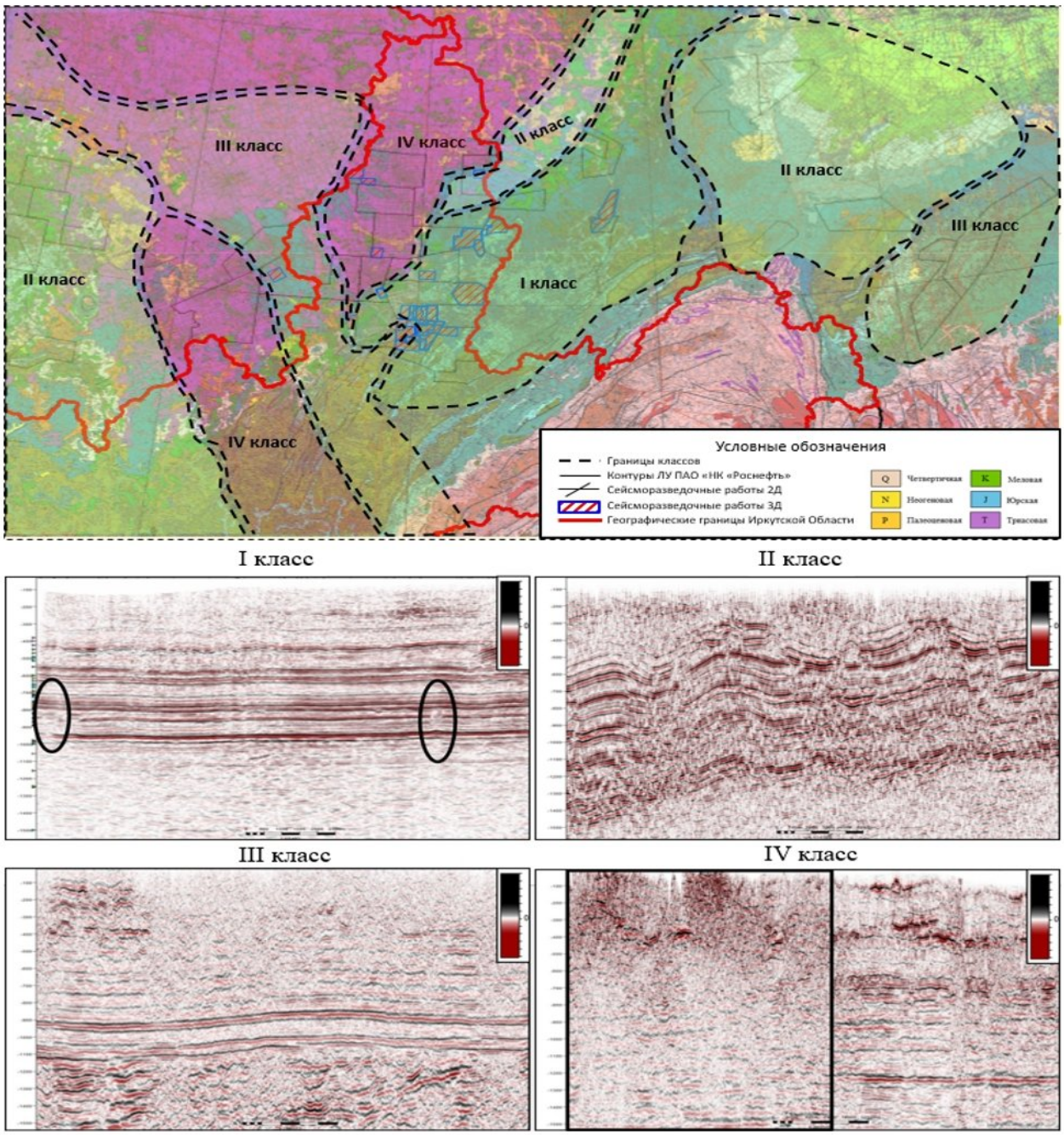
Особенности планирования и проектирования полевых сейсморазведочных работ с беспроводными датчиками

Для учета различий в приповерхностных сейсмогеологических условиях при планировании сейсморазведочных работ рекомендуется выполнять районирование территории (разделение на несколько принципиальных классов) в зависимости от возможности регистрации качественных сейсмических данных в пределах каждого класса. Деление на классы для региона Восточной Сибири выполнено специалистами ООО «РН-Эксплорейшн» на основе априорной поверхностной геологической информации, накопленных знаний о породах, слагающих верхнюю часть разреза, а также на основе имеющихся архивных данных 2D и 3D сейсморазведки (Рис. 6., сверху).

В нижней части Рис.6. представлены сейсмические разрезы 2D, полученные в пределах каждого из этих классов. Можно отметить, что сейсмические данные, полученные со стандартной системой наблюдения в пределах класса 1, пригодны для выполнения кинематической и динамической интерпретации, и по ним возможно уверенное выделение поисковых геологических объектов. В пределах 4 класса, на отдельных частях разреза, наблюдается отсутствие сейсмических отражений, поэтому по таким данным даже задача прослеживания основных отражающих горизонтов (ОГ) является нетривиальной.

Подобное деление территорий на классы позволяет понять принципиальное геологическое строение ВЧР и оценить потенциальные ограничения и сложности, с которыми мы можем столкнуться при проведении полевых сейсморазведочных работ в пределах того или иного класса. В свою очередь, понимание сейсмогеологических и поверхностных особенностей района приводит к необходимости их учета при проектировании и планировании полевых систем наблюдения, наряду с информацией о глубинах залегания целевых ОГ и о типе и размерах поисковых геологических объектов.

Для учета поверхностных ограничений, значительных перепадов рельефа и эксклюзивных зон в пределах площади



▲ *Рис. 6. Пример районирования территории Восточной Сибири в зависимости от качества регистрируемых сейсмических данных (сверху) и примеры сейсмических разрезов для каждого из выделяемых классов (снизу).*

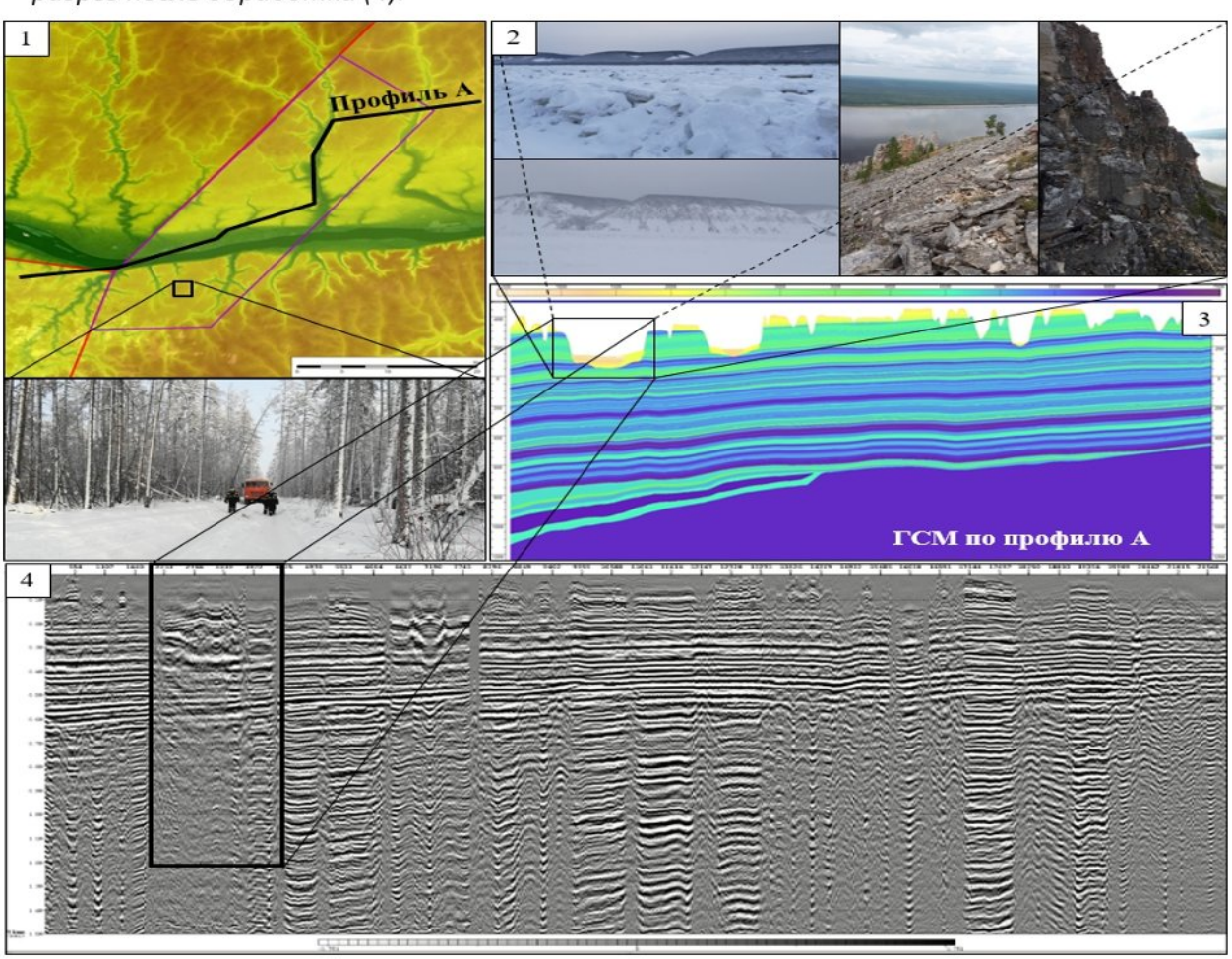
работ рекомендуется выполнять комплекс рекогносцировочных работ на этапе проектирования полевой методики. При этом само проектирование оптимальной системы наблюдения рекомендуется выполнять на основе комплексного многоуровневого подхода, разработанного специалистами ООО «РН-Эксплорейшн» с применением методов 2D и 3D конечно-разностного моделирования [1,9]. Данный подход позволяет учитывать информацию о геологическом строении района, скоростных характеристиках разреза, глубинах залегания целевых горизонтов и строении поисковых объектов и ловушек углеводородов, а также анализировать, насколько существенным будет влияние

имеющихся эксклюзивных зон и ограничений на возможность получения качественных сейсмических данных.

При использовании различных методов моделирования выполняется построение детальной сейсмогеологической модели с учетом аномалиеобразующих объектов в различных интервалах разреза и особенностей рельефа на местности. Для детального построения модели ВЧР должны привлекаться все доступные геолого-геофизические данные, в том числе МСК, ВСП, скважинные данные и априорная геологическая и справочная информация. Подобная детальность модели необходима для максимального приближения синтетических данных к реальным.

На Рис. 7. представлен пример детальной сейсмогеологической модели продольных скоростей (3) и фотографии поверхностных условий (1,2), полученные в результате рекогносцировочных работ на одном из участков в Восточной Сибири. Данные снимки позволяют получить информацию о перепадах рельефа (от 100 до 400 м) и плотности лесного покрова в пределах площади работ, а также о горных породах, слагающих верхнюю часть разреза, и поверхностных условиях в районе реки. На Рис. 7. (4) представлен итоговый синтетический разрез после обработки, на котором отчетливо видно изменение характера и частотного состава отражений в районе реки. По данной модели была выполне-

▼ *Рис. 7. Рельеф и поверхностные условия в пределах района работ (1,2), исходная глубинно-скоростная модель с детализацией вблизи реки (3), синтетический разрез после обработки (4).*



на оценка необходимой плотности сейсмических данных, а также были протестированы параметры регуляризации при различной плотности систем наблюдения.

Конечно-разностное 2D/3D моделирование с использованием детальной сейсмогеологической модели позволяет подобрать оптимальную полевую методику с точки зрения необходимой плотности регистрируемых данных и возможности выделения целевых поисковых объектов в волновом поле, учитывая при этом все особенности геологического и приповерхностного строения разреза, глубины залегания целевых объектов и горизонтов и скоростные характеристики среды.

Особенности проведения полевых работ с беспроводными датчиками STRYDE Node

Нодальное регистрирующее оборудование STRYDE поставляется в трех различных модификациях: Nimble™, Compact™ и Pro™.

Система STRYDE Nimble представляет собой комплекс беспроводного регистрирующего и периферийного оборудования для выполнения полевых сейсморазведочных работ с общим количеством датчиков на проекте не более 50 000 (Рис. 8), который состоит из следующих основных элементов:

- катушка с веревкой длиной 600 м (A) облегчает поиск датчиков и их последующее извлечение, к примеру, из-под снежного покрова или из твердого/мерзлого грунта;

- рюкзак с каркасом для периферийного оборудования (B). Поставляется в 3-х различных модификациях для целей переноски датчиков и навигационного оборудования, а также упрощения процесса подмотки технологической верёвки;

- устройство инициализации беспроводных датчиков «Initialization Device ™» (C). Используется совместно с мобильным устройством Navigator Tablet ™ для получения полной информации о данных с датчиков (координаты, номера линий и пикетов, статусы работ и др.). Устройство инициализации также позволяет регулировать режим работы датчиков непосредственно в полевых условиях (включение, спящий режим, отключение) без необходимости их доставки на базу сейсмопартии. Вес устройства 200 г;

- мобильное устройство «Navigator Tablet» (D) используется для позиционирования датчиков на местности с точностью до 5 м и их инициализации при установке. Для позиционирования устройство может использовать внутреннюю систему GPS, либо внешние системы в режиме RTK (рекомендуется производителем) для более точного определения пространственного положения. Устройство также позволяет контролировать процесс установки датчиков, статус каждого датчика, формировать ежедневные отчеты по установке или сбору и отслеживать ежедневную производительность и статистику;

- системная стойка «The System Case™» (E) автоматизирует зарядку и сбор данных с датчиков и позволяет хранить, считывать и просматривать данные с датчиков для контроля качества и визуализации полевого материала. Система имеет предустановленное программное обеспечение для полноценной работы с датчиками STRYDE Node™;

- устройство для выгрузки данных и зарядки датчиков «The Nest Case ™» (F) позволяет одновременно заряжать до 90 датчиков в одной стойке (или 70 датчиков и 4 устройства инициализации) менее чем за 4 часа или до 540 датчиков в день и параллельно выполнять считыва-

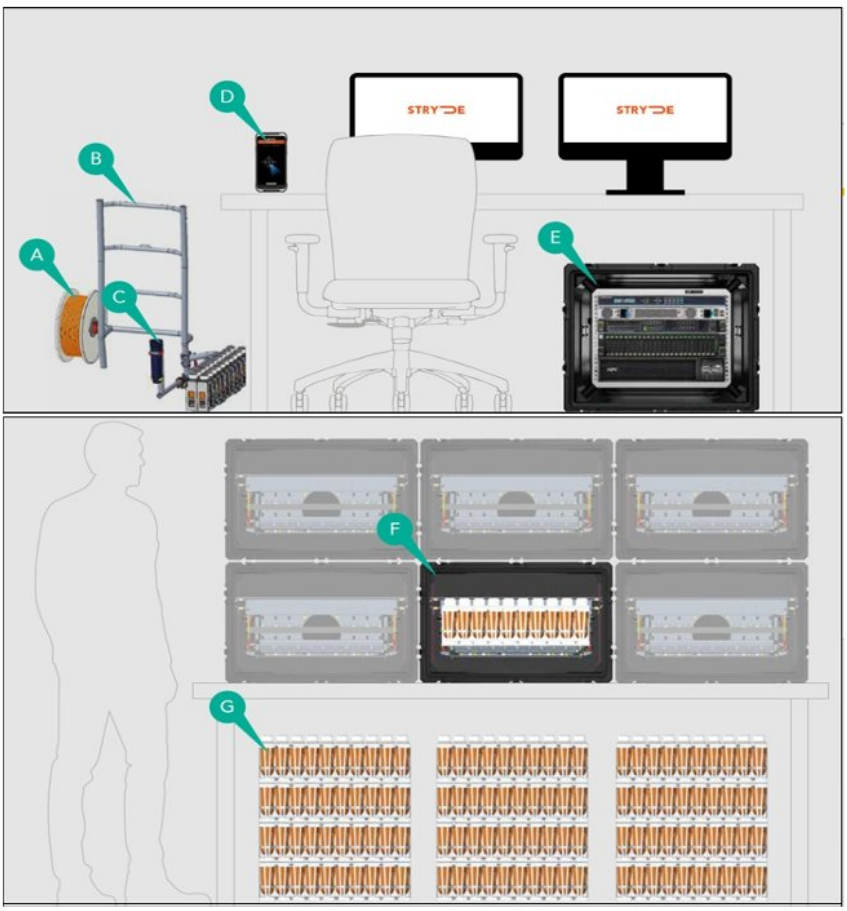


Рис. 8. Оборудование и устройство системы STRYDE Nimble.

ние зарегистрированных данных с датчиков. После размещения датчиков внутри устройства считывание и зарядка происходят автоматически через активацию серверной стойкой. Система позволяет подключить до 6-ти устройств считывания и зарядки «The Nest Case» к одной системной стойке «The System Case», таким образом, возможно считывать и заряжать одновременно до 540 датчиков (6 стоек по 90 датчиков) и до 3000 датчиков в день.

- блочная система кейсов для хранения и транспортировки датчиков (G) позволяет соединять кейсы друг с другом (до 9 штук) для последующего крепления к рюкзакам и периферийному оборудованию для транспортировки большого количества датчиков и считывания/зарядки датчиков.

Система STRYDE Nimble расчитана на работу с 50 000 датчиков, полностью портативна и представляет собой автоматизированное рабочее место с двумя мониторами, периферийным оборудованием и несколькими дополнительными стойками для зарядки, считывания данных и контроля качества полевого материала. Система легко транспортируется и может перемещаться даже на легковом автомобиле или вертолете, и идеально подходит для выполнения работ в удаленных районах при отсутствии развитой инфраструктуры, для выполнения сейсморазведочных работ 2D или разреженных полевых методик 3D.

Помимо системы STRYDE Nimble, предлагаются к использованию системы STRYDE Compact (при работе до 150 000 датчиков) и STRYDE Pro (при работе до 500 000 датчиков).

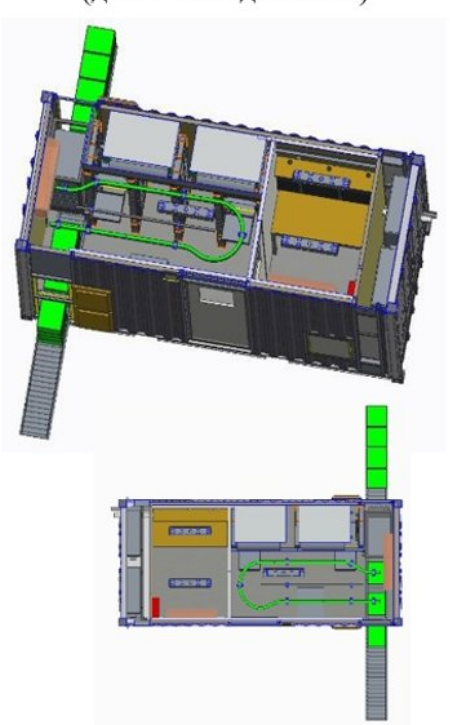
Система STRYDE Compact представляет собой полноразмерный контейнер, внутри которого размещается рабочее место оператора с предустановленной системой и программным обеспечением, 4 полноценные стойки для считыва-

ния данных и зарядки датчиков (каждая стойка может одновременно обслуживать до 540 датчиков), а также автоматизированный конвейер для перемещения датчиков, люк и лента для перемещения датчиков в дополнительный контейнер очистки (Рис. 9). Система STRYDE Compact может обслуживать в день до 13 000 датчиков при работе 24 часа в сутки (с 2-мя операторами в смене) и идеально подходит для выполнения высокоплотных сейсморазведочных работ 3D с большим количеством активных каналов.

Система STRYDE Pro представляет собой 3 отдельных стандартных 20-ти футовых контейнера, каждый из которых может обслуживаться одним оператором: первый контейнер для выгрузки данных и зарядки датчиков (включая автоматизированное устройство для поднятия и перемещения кейсов с датчиками), второй контейнер для очистки датчиков от грязи и третий контейнер для управления процессами и визуализации сейсмического материала (Рис. 9). Система STRYDE Pro может одновременно заряжать и считывать данные с 3240 датчиков с одним оператором в смене. Контейнер очистки датчиков может с помощью одного оператора очистить до 40 000 датчиков и по автоматическому конвейеру переместить их в контейнер для считывания и зарядки. Контейнер для считывания данных дополнительно комплектуется специальным оборудованием для тестирования датчиков («Shaker table»), с помощью которого можно проверить работоспособность и соответствие допускам до 90 датчиков за 2 минуты путем комбинации моночастотного свип-сигнала 31.25 Гц и серии широкополосных импульсов. Система Pro может обслуживать в день более 20 000

▼ *Рис. 9. Оборудование и устройство систем STRYDE Compact и Pro.*

Система **STRYDE Compact**
(до 150 000 датчиков)



Зарядка и считывание данных с 2160 датчиков одновременно

Система **STRYDE Pro**
(до 500 000 датчиков)



Зарядка и считывание данных с 3240 датчиков одновременно

датчиков при работе 24 часа в сутки и идеально подходит для выполнения высокоплотных сейсморазведочных работ 3D с большим количеством активных каналов, в том числе, по ковровой полевой методике, и для выполнения больших по объему площадей, где требуется большая ротация единичных датчиков.

Заключение

Разработка и внедрение в промышленную эксплуатацию датчиков Nimble Node компанией «STRYDE» позволяет по-новому взглянуть не только на возможность получения качественных сейсмических данных, но и на выполнение полевых работ в целом. Работа с большим количеством активных каналов и большими массивами регистрируемых сейсмических данных требует существенной модернизации и пересмотра подходов к позиционированию датчиков, контролю качества полевого материала [4] и обработке сейсмических данных. Кроме того, планирование высокоплотных работ требует тщательной и своевременной проработки технических, технологических и экономических аспектов выполнения полевых CPP 3D.

Благодаря преимуществам системы STRYDE (значительно меньший вес оборудования, меньшие затраты на логистику и объемы хранения, легкость и быстрота установки, сбора, ротации, зарядки датчиков и др.) появляются неограниченные технологические возможности по увеличению плотности регистрируемых сейсмических данных. Применение высокотехнологичной системы STRYDE открывает путь к широкой модернизации полевых систем наблюдения, в том числе, возможный переход к ковровым методикам [8,14], и решению ранее невозможных геологических задач в регионах РФ со сложным геологическим строением.

Литература

1. Гуренцов Н.Е., Твердохлебов Д.Н., Мельников Р.С. Комплексный подход к проектированию оптимальных систем наблюдения CPP-2D/3D на основе сейсмогеологического моделирования. Москва. Геофизика. 3. 2020. 31-37 с.

2. Твердохлебов Д.Н., Данько Е.А., Каширина Е.Г. Конечно-разностное сейсмогеологическое моделирование с целью повышения эффективности обработки и качества интерпретации сейсмических данных. Москва. Геофизика. 6. 2017. 10–18 с.

3. C. Brooks, A. Ourabah, A. Crosby, T. Manning, J. Naranjo, D. Ablyazina, V. Zhuzhel, E. Holst and V. Husom, 2018, 3D field trial using a new nimble node – West Siberia, Russia. 88th annual SEG meeting, Expanded Abstracts, ACQ1.1.

4. A. Crosby, T. Manning, A. Ourabah, C. Brooks, D. Dieulangard, J. Quigley, C. Vasile, D. Ablyazina, 2020, In-field quality control of very high channel count autonomous nodal systems, SEG Technical Program Expanded Abstracts 2020.

5. T. Manning, D. Ablyazina, J. Quigley, 2019, The nimble node — Million-channel land recording systems have arrived, The Leading Edge, Volume 38, Issue 9, September 2019, p. 706-714.

6. T. Manning, C. Brooks, A. Ourabah, A. Crosby, M. Popham, D. Ablyazina, V. Zhuzhel, E. Holst and N. Goujon, 2018, The case for a nimble node, towards a new land seismic receiver system with unlimited channels, 88th annual SEG meeting, Expanded Abstracts.

7. T. Manning, J. Stone, A. Ourabah, D. Ablyazina and J. Quigley, 2019, Could You Use One Million Nimble Node Channels?, 81st EAGE Conference and Exhibition 2019, Extended abstract.

8. J. Naranjo, D. Dieulangard and M. Pfister, 2019, Using Carpet Geometries in Simultaneous Source Acquisition, 81st EAGE Conference and Exhibition 2019, Jun 2019, Volume 2019, p.1 – 5.

9. J. Naranjo, N. Gurentsov, D. Tverdokhlebov, O. Adamovich and R. Melnikov

Designing High Density Land Acquisition Surveys in Complex Environments; A Case Study from East Siberia, Russia. EAGE 2020 Annual Conference & Exhibition Online, Dec 2020, Volume 2020, 1 – 5 p.

10. A. Ourabah, 2020, From nimble node to STRYDE - a brief history of a disruptive nodal technology, Conference Proceedings, Second HGS and EAGE Conference on Latin America, Dec 2020, Volume 2020, p.1 – 5.

11. A. Ourabah, A. Crosby, 2020, A 184 million traces per km2 seismic survey with nodes – acquisition and processing, SEG Technical Program Expanded Abstracts, 2020.

12. A. Ourabah, A. Crosby, C. Brooks, E. Manning, K. Lythgoe, D. Ablyazina, V. Zhuzhel, E. Holst and T. Knutsen, 2019, A Comparative Field Trial of a New Nimble Node and Cabled Systems in a Desert Environment, 81st EAGE Conference and Exhibition 2019, Extended abstract.

13. D. Tverdokhlebov, I. Arutyuniants, E. Danko, A. Gayduk, D. Ablyazina, R. Melnikov, O. Adamovich, J. Naranjo and A. Ourabah, 2019, Processing and Analysis Results of the First 3D Nimble Node Survey; West Siberia, Russia, 81st EAGE Conference and Exhibition 2019, Extended abstract.

14. Gijs J.O. Vermeer, 2020, Are carpet geometries the way to go? First Break, Volume 38, Issue 5, May 2020, p. 33 – 41.

Подробнее об авторах



Твердохлебов
Данила Николаевич,

к.т.н., Руководитель группы геофизических работ ООО «РН-Эксплорейшн»



Аблязина
Динара Ибрагимовна,

Главный специалист управления оперативного сопровождения ПАО «НК«Роснефть»



Давыдова
Елена Александровна,
д.т.н., Начальник управления оперативного сопровождения сейсморазведочных работ ПАО «НК«Роснефть»



Гуренцов
Никита Евгеньевич,

Ведущий специалист группы геофизических работ ООО «РН-Эксплорейшн»



Колескин
Дмитрий Сергеевич,

Главный геофизик ПАО «Самаранефте-геофизика»



Майк Попхем,

Главный исполнительный директор «STRYDE Ltd»



Крис Инчкомб,

Консультант «STRYDE Ltd»



Амин Оураба,

Начальник отдела обработки «STRYDE Ltd»

Адаптивные технологии вибрационной сейсморазведки. Часть II

Жуков А.П., Коротков И.П.

1. Технология адаптации в ультранизком частотном диапазоне (1-10 Гц). Low-dwell свип

Расширение диапазона частот регистрируемых вибросейсмических сигналов становится основной тенденцией развития технологии вибросейсморазведки.

Как правило, вибросейсмические источники, по своим техническим характеристикам обеспечивают нормальную работу в пределах 8 – 80 Гц. Технология АВИСейс обеспечивает подъём средне – и высокочастотных составляющих, что зачастую достаточно для решения многих геологических задач. Однако, чтобы выйти на уровень качества, обеспечиваемого взрывной методикой, необходимо расширить частотный диапазон также и в низкочастотную сторону.

Определим диапазоны частот желаемого свип-сигнала следующим образом (Рис. 1): (1-3 Гц) – 10 Гц – ультранизкие, 10-60 Гц. – средние, 60=>100 Гц - высокие.

Следует заметить, что расширение частотного диапазона вибросигнала в сторону ультранизких частот, кроме увеличения октавности сигнала (что само по себе неплохо и приводит к улучшению формы кросскорреляционных функций с одновременным уменьшением уровня боковых лепестков) увеличивает достоверность псевдоакустических преобразований сейсмических трасс.

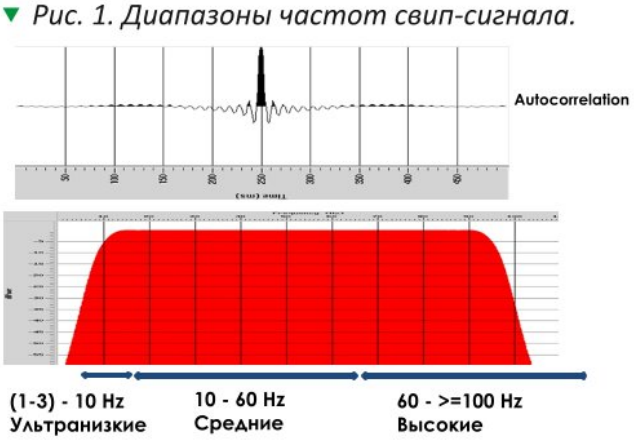
Идея ухода в область ультранизких частот была впервые высказана в статье [Bagaini, 2008], что в результате привело к появлению методики MD-свип.

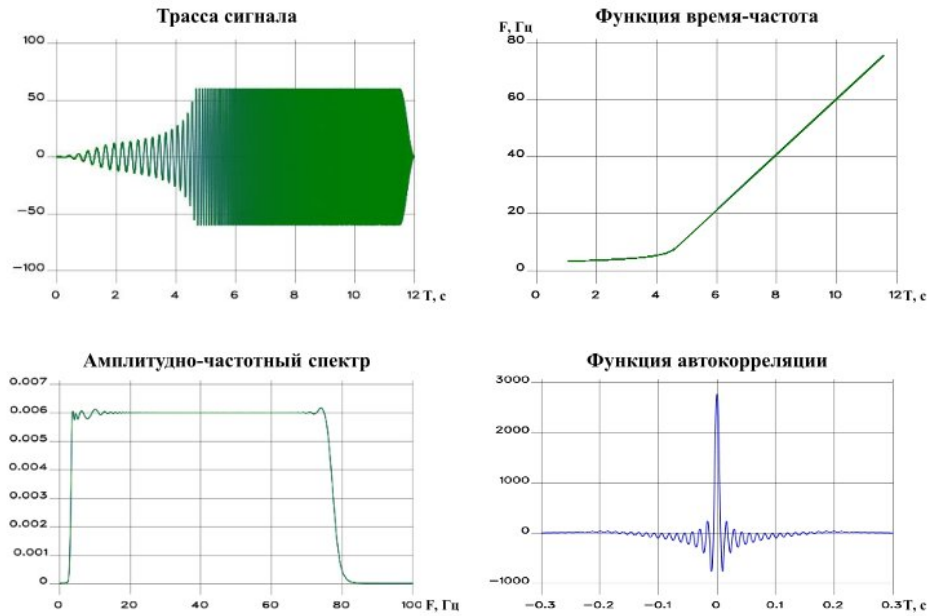
Практическая реализация данной идеи возможна двумя путями. Первый – создание виброисточника, уверенно и надежно работающего в ультранизком диапазоне частот; второй -создание систем управления, генерирующих сигнал, накачивающих достаточную энергию в ультранизком диапазоне стандартными виброисточниками. Второй путь является исключительно актуальным, так как в мире и в России имеется огромный парк стандартных виброисточников, работающих в относительно узкой частотной полосе,

Первый путь реализуется производителями виброисточников (BGP, Sercel, I/O, Геосвип), которые решают эту задачу увеличивая ход инерционной массы, модернизируя систему гидроаккумуляторов для сглаживания пульсаций, увеличивая мощность гидравлического насоса и т.д. [Zhouhong Wei and Yuanzhou Pan, 2015].

Второй путь, и он реализован в отечественной системе управления GDS-II, создание сигнала, позволяющего накачивать энергию в ультранизкочастотном диапазоне стандартными виброисточниками. При этом реализуются как минимум два условия, - первое- сигнал должен быть малоамплитудным во избежание выхода из строя виброисточника, второе – уровень энергии в данном

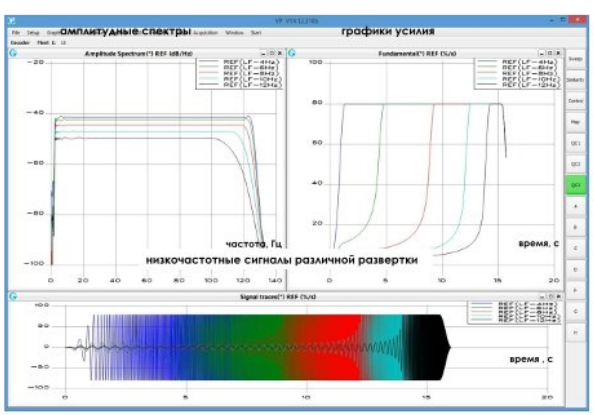
▼ *Рис. 1. Диапазоны частот свип-сигнала.*





◀ *Рис. 2. GDS-II. Встроенный контроль вибрации на низких частотах.*

▼ *Рис. 3. Семейство низкочастотных сигналов (Low-dwell) 2-128 Гц.*



диапазоне должен быть сопоставим с энергией оставшейся части ЛЧМ-сигнала (рис. 2 и 3).

Очевидно, что совместное применение двух подходов даёт оптимальный результат.

Однако необходимо помнить, что сохранение уровня возбуждения требует снижения скорости развертки свип-сигнала. В соответствии с формулой

$$t(f) = 4D / F^2,$$

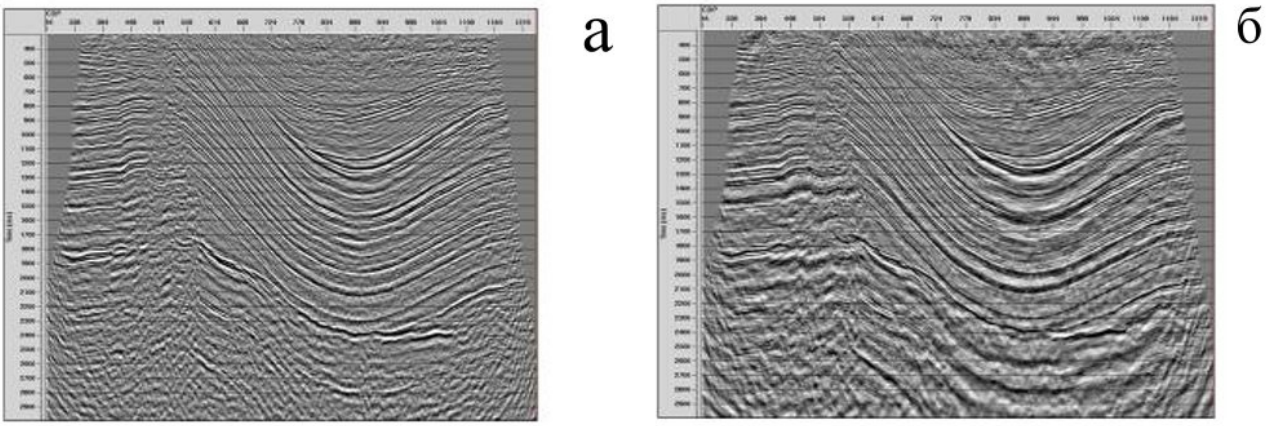
где D – желаемая плотность колебаний, F – сила,

При заданной частоте длительность развертки должна увеличиваться пропорционально квадрату снижения уровня возбуждения. При одинаковой длительности развертки и изменении диапазона ультранизких частот, происходит снижение уровня посылаемой в грунт энергии (рис. 3).

В западной литературе сигналы подобного типа носят название Low-dwell. На рис. 4 показаны результаты сравнения обычного и низкочастотного сигнала с применением системы GDS-II. Смещение начальной частоты в область ультранизких частот способствует повышению глубинности, улучшается рельефность изображения, и будет полезно при дальнейшей обработке, особенно при инверсии сейсмических данных.

2. Технология адаптивной широкополосной вибросейсморазведки Broad-sweep®

Как было рассмотрено выше, расширение полосы возбуждаемых частот вибросигнала в ультранизкую область позволяет увеличить октавность регистрируемых сейсмических данных, что повышает эффективность вибрационных исследований. Однако при этом остается нерешенным вопрос компенсации средне-высокочастотного затухания,



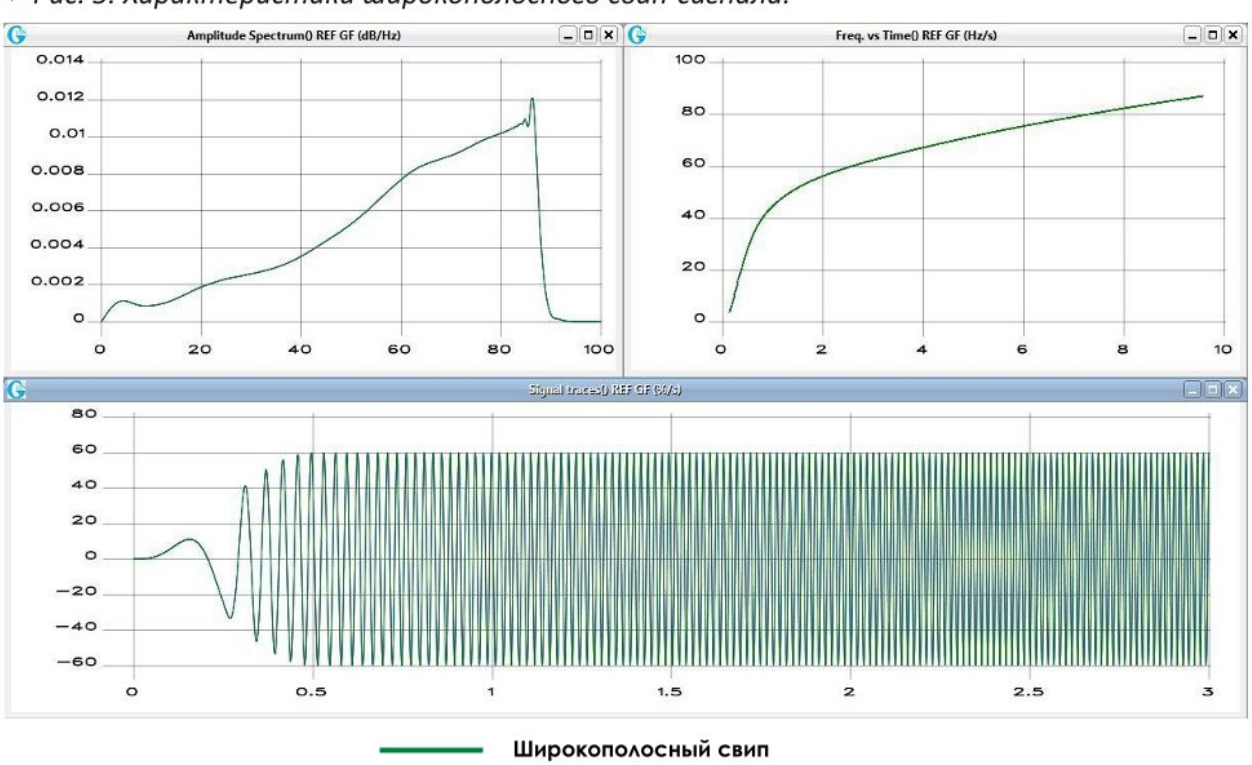
▲ *Рис. 4. Результаты сравнения линейного и низкочастотного сигнала: а - стандартный линейный свип 10-90 Гц / 10 с; б - низкочастотный свип 3 - 8 - 90 Гц / 10 с.*

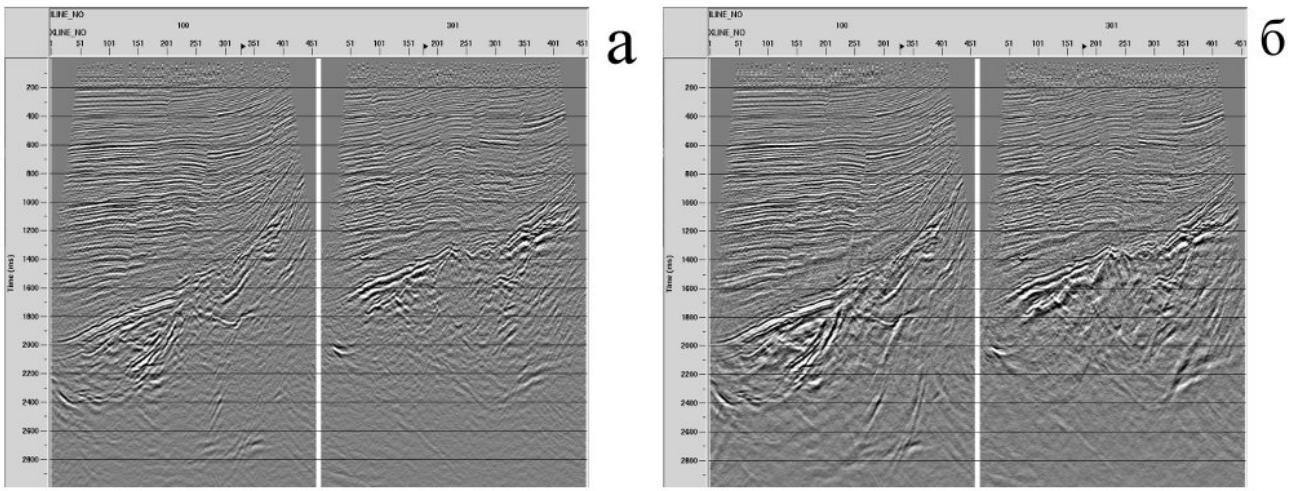
обусловленного фильтрующим действием земной толщи.

В рамках системы управления виброисточниками GDS-II эта задача была решена. Разработан широкополосный сигнал, позволяющий расширять частотный диапазон как в сторону низких, так и средне-высоких частот. На основе данного сигнала запатентована технология и товарный знак Broadsweep® [Гридин и др., 2014] По своей сути данная технология является аналогом технологии АВИСейс, но с одним существенным отличием, - в качестве настроечного свип-сигнала используется низкочастотный сигнал (Low-dwell) – см. рис. 5.

Существует также возможность реализации технологии без настроечного свипа. В настоящее время технология широко опробована в различных сейсмогеологических условиях, и по сути является единственным методом, позволяющим одновременно увеличивать глубинность исследований и разрешенность

▼ *Рис. 5. Характеристики широкополосного свип-сигнала.*





▲ *Рис. 6. Результаты сравнения линейного и широкополосного сигнала: а - стандартный линейный сигнал 8-90 Гц; б - широкополосный сигнал 1,5-90 Гц.*

данных. На рис. 6 приведены результаты работ в Китае по стандартной технологии и технологии Broadsweep®.

Что можно видеть на данных рисунках? Первое – увеличение глубинности за счет генерации низких частот, второе – подчеркивание за счет тех же низких частот корней глобальных разломов и третье – за счет широкополосности изображение становится рельефным, динамически более выраженным. Применение данной технологии позволяет говорить о возможности получения результирующих данных на уровне, а зачастую и превосходящих взрывные.

3. Опытно-методические работы по модификациям адаптивной технологии.Оренбургская – 4

Данные работы были проведены в пределах площади Оренбургская-4 (Оренбургское газоконденсатное месторождение) с целью сравнения стандартной технологии с ЛЧМ-сигналом и различными методиками адаптивной технологии. Участок работ был выбран с таким расчетом, что в пределах его были глубокие скважины с измерениями акустического импеданса. Работы выполнялись под общим методическим руководством ООО «НПП «Спецгеофизика» силами сейсмопартии ООО «ТНГ-Групп». Общий объём 3Д исследований составил 35 кв.км с методико-техническими характеристиками, указанными в Таблице 1.

Использовалась следующая аппаратура:

- телеметрическая система сбора сейсмической информации Sercel 428XL;
- вибрационные источники сейсмических колебаний NOMAD 65;
- блоки управления сейсмическими виброисточниками GDS-II;

На каждом ПВ исследуемой площади было реализованы следующие сигналы:

- стандартный линейный свип (ЛЧМ) 8–110 Гц, 12 с
- адаптивный свип (АЧМ) 6 – 110 Гц, 12 с, параметр регуляризации 15%
- низкочастотный свип (Low-dwell, НЧ) 3 – 8-110 Гц, 12 с
- широкополосный свип (Broadsweep, АНЧ) 3 – 8-110 Гц, 12 с.

Карта кратности и схема отстрела показаны на рис. 7, исходные сейсмограммы и их спектры на рис. 8. Анализ посылаемых и принимаемых сигналов приведён ниже. Для корректного сравнения полученные данные были обработаны по единому графу.

Рассмотрим полученные результаты.

Параметры	Значение
Станция	Sercel – 428XL#16
Тип работ	3D МОГТ
Расстояние между линиями приема, м	300
Расстояние между линиями возбуждения, м	300
Расстояние между пунктами приема, м	50
Расстояние между пунктами возбуждения, м	50
Число активных каналов на линию приема	120
Число линий в полосе	20
Количество активных каналов в расстановке	2400
Максимальное удаление взрыв-прибор, м	4207,2
Тип сейсмических приемников	GS 20-DX
Длина записи, мс	6000
Шаг дискретизации, мс	2
Тип источника	NOMAD 65
Усилие воздействия, %	60
Длина группы, м	35
Количество источников в группе	3-4
Длина свипа, мс	12000+6000

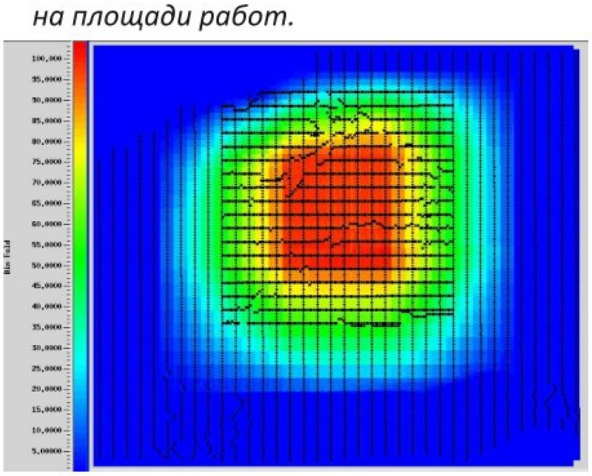
Тип свипа	ЛЧМ	АЧМ	НЧ	АНЧ
Начальная частота, Гц	8	6	3-8	3-8
Конечная частота, Гц	110	110	110	110

▲ *Табл.1.*

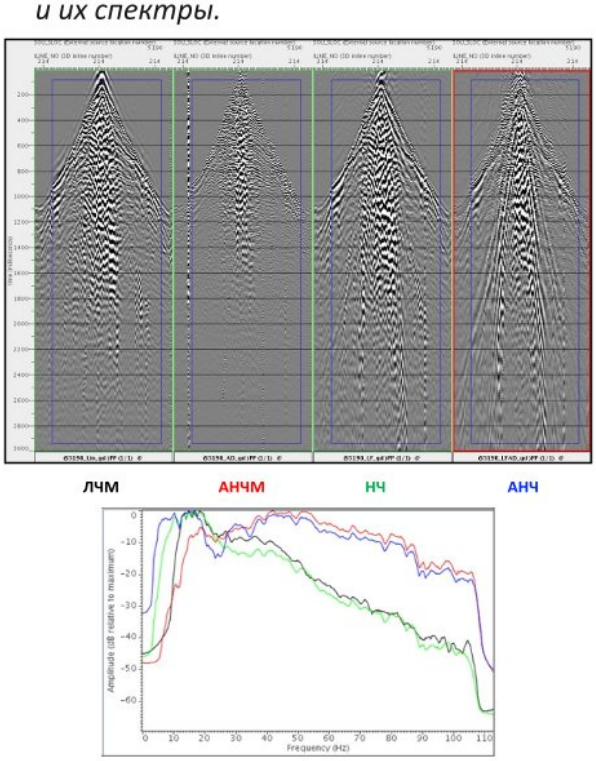
На рис. 9 приведены вертикальные временные срезы обработанных кубов данных.

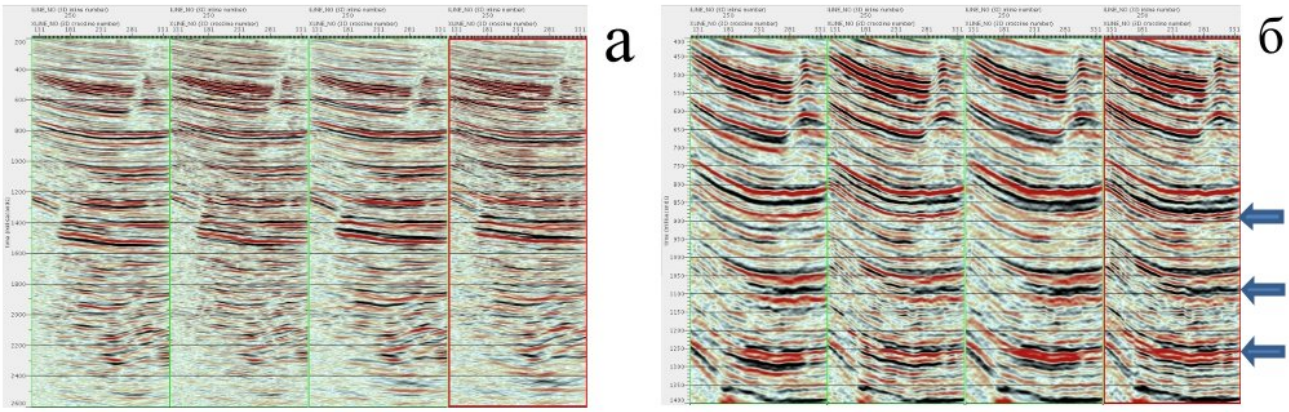
При визуальной оценке временных разрезов, особенно фрагмента, показан-

▼ *Рис. 7. Карта кратности и схема расположения линий ПВ и ПП на площади работ.*



▼ *Рис. 8. Исходные сейсмограммы и их спектры.*





▲ *Рис. 9. Сравнение вертикальных срезов кубов 3Д: а – интервал времен 200 – 2600 мс; б – интервал времен 400 – 1400 мс.*

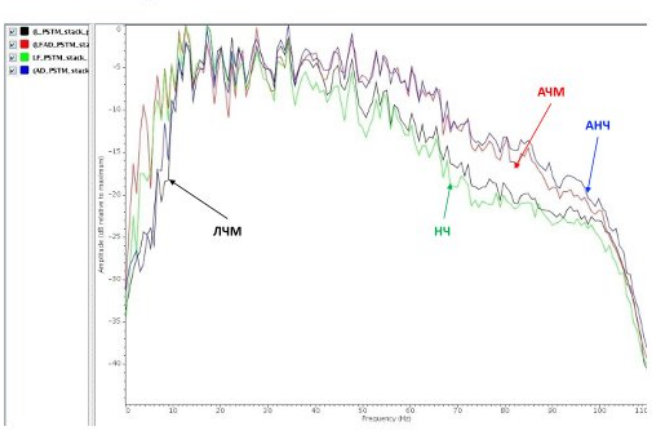
ного на рис.9, б, можно отметить несомненное увеличение разрешенности сигналов при применении технологии АВИСейс, увеличение глубинности при использовании НЧ (низкочастотного Low-dwell) свипа и одновременное увеличение глубинности и разрешённости при Broadsweep-сигнале. Этот вывод подтверждается также спектрами (рис. 10) и горизонтальными срезами (рис. 11).

Прежде чем продолжить анализ полученных данных, сделаем небольшое отступление на тему правомочности использования геофонов с резонансной частотой 10 Гц, при посылке ультранизкочастотных составляющих сигнала с 3 Гц и ниже. Ряд экспериментальных сравнений, а также анализ амплитудно-частотных характеристик геофонов показывает, что крутизна среза левой части позволяет регистрировать ультранизкие частоты, вносящие весомый вклад в результирующий сигнал, повышая октавность с 3-4 октав до 5-6. Появившиеся 4.5 и 5 Гц геофоны позволят более оптимально регистрировать низкие частоты, но здесь необходимо учитывать возрастающую при регистрации энергию низкочастотных поверхностных волн.

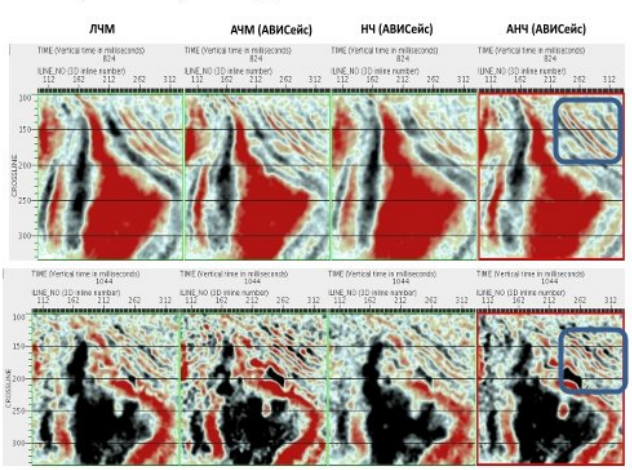
На рис. 12 показаны полосовые фильтрации (по октавам) разрезов, полученных по всем вариантам методик, где отчетливо видно расширение спектров сигнала в сторону низких и высоких частот (до 6 октав).

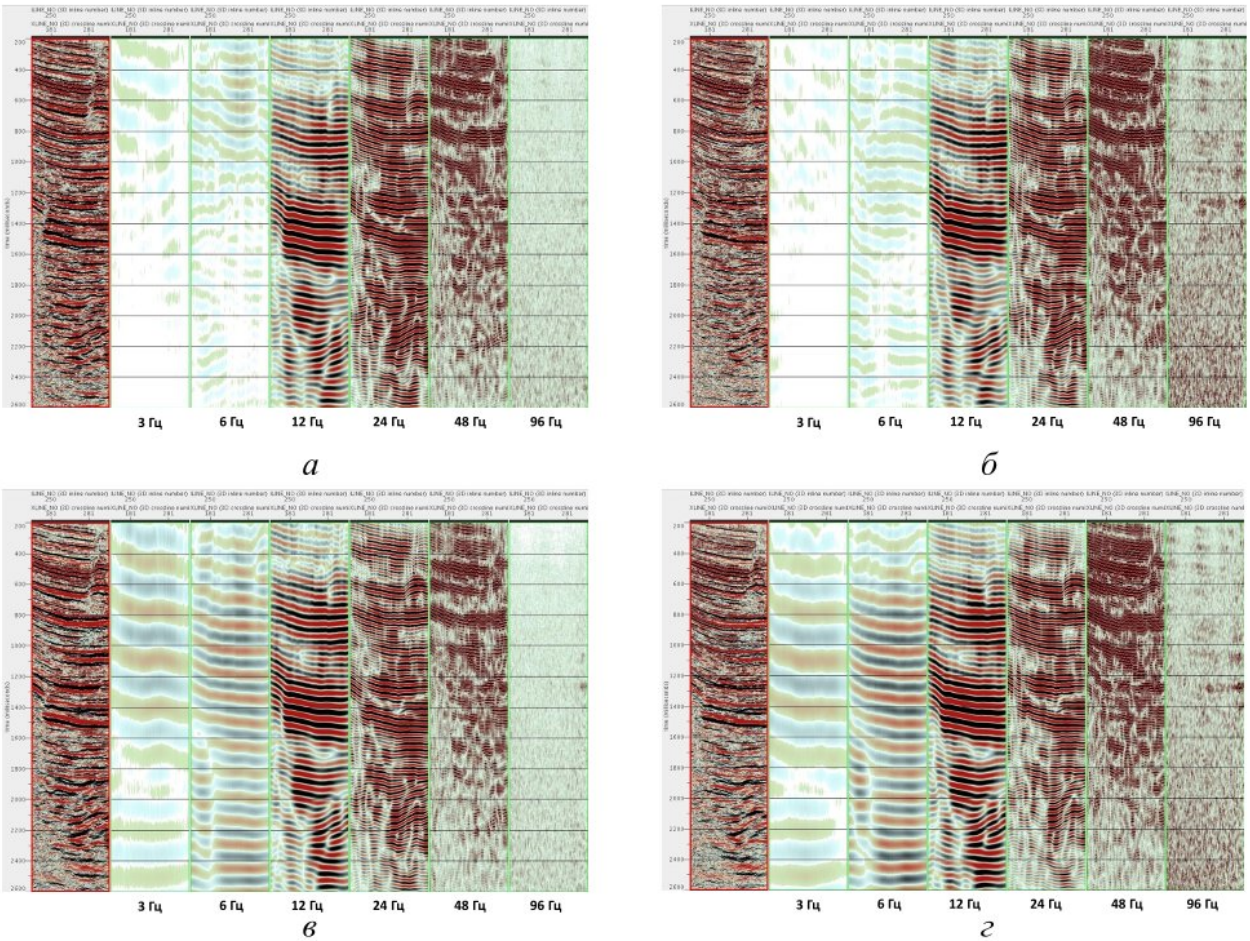
Наличие в пределах участка работ двух скважин с акустикой позволило получить

▼ *Рис. 10. Сравнение амплитудно-частотных спектров волнового поля для различных сигналов.*



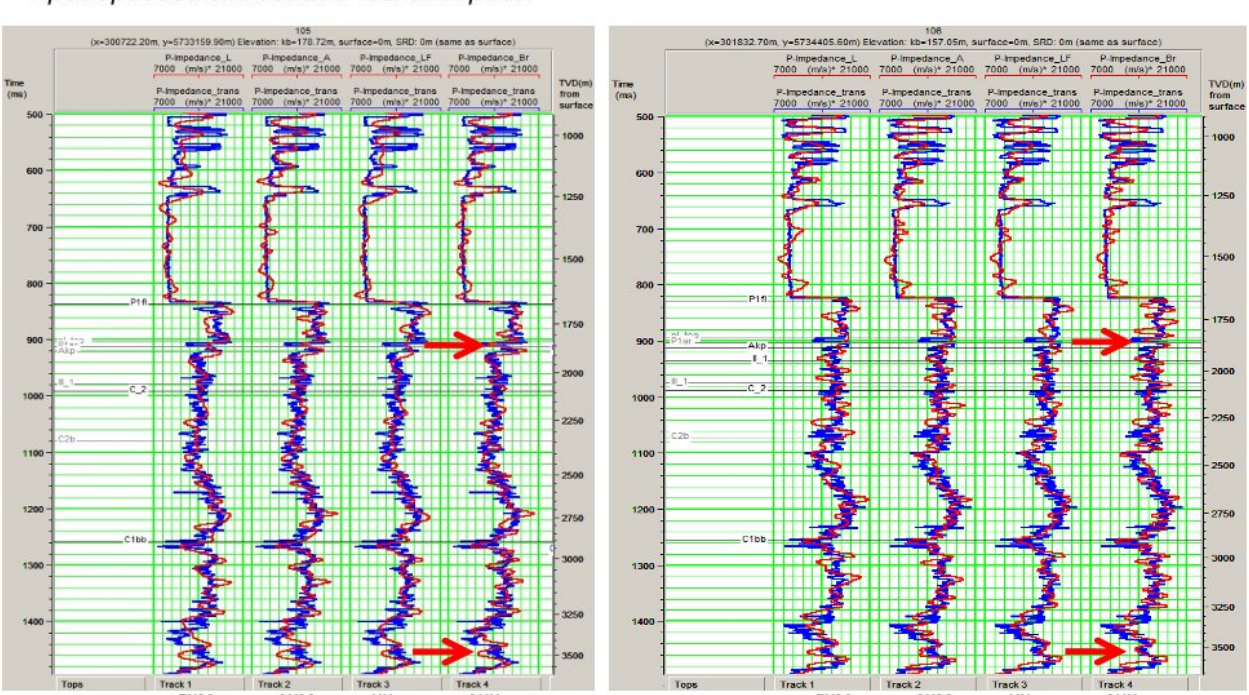
▼ *Рис. 11. Сравнение горизонтальных срезов кубов 3Д.*

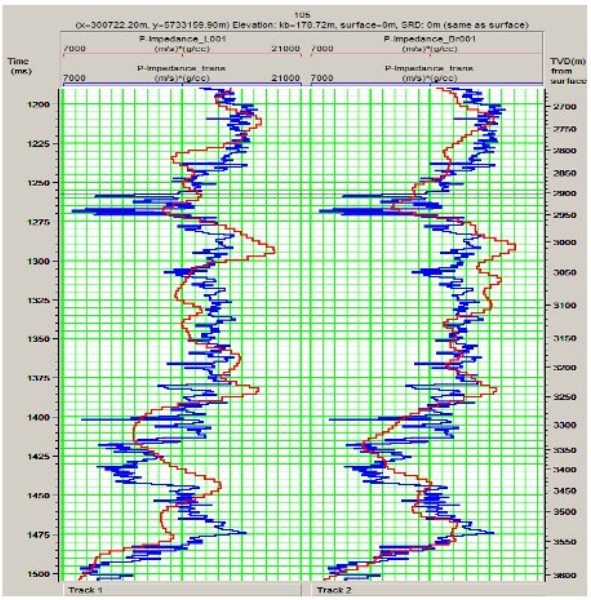




▲ *Рис. 12. Полосовая фильтрация (по октавам) разреза, полученного по методике: а – ЛЧМ стандартная; б - адаптивная; в - низкочастотная; г – широкополосная.*

▼ *Рис. 13. Сравнение исходных и расчетных кривых акустического импеданса: синий цвет – каротажные кривые; красный цвет – кривые после псевдоакустических преобразований сейсмических трасс.*





Линейный **Широкополосный**

Рис. 14. Сравнение исходных и расчетных кривых акустического импеданса при минимальном влиянии модели (0.001 %): синий цвет – каротажные кривые; красный цвет – кривые после псевдоакустических преобразований сейсмических трасс.

некоторые количественные оценки, характеризующие результаты, полученные по той или иной методике.

На рис. 13 – 15 показаны результаты сравнения акустических импедансов, измеренных в скважинах (синий цвет), и полученных из сейсмических данных (красный цвет).

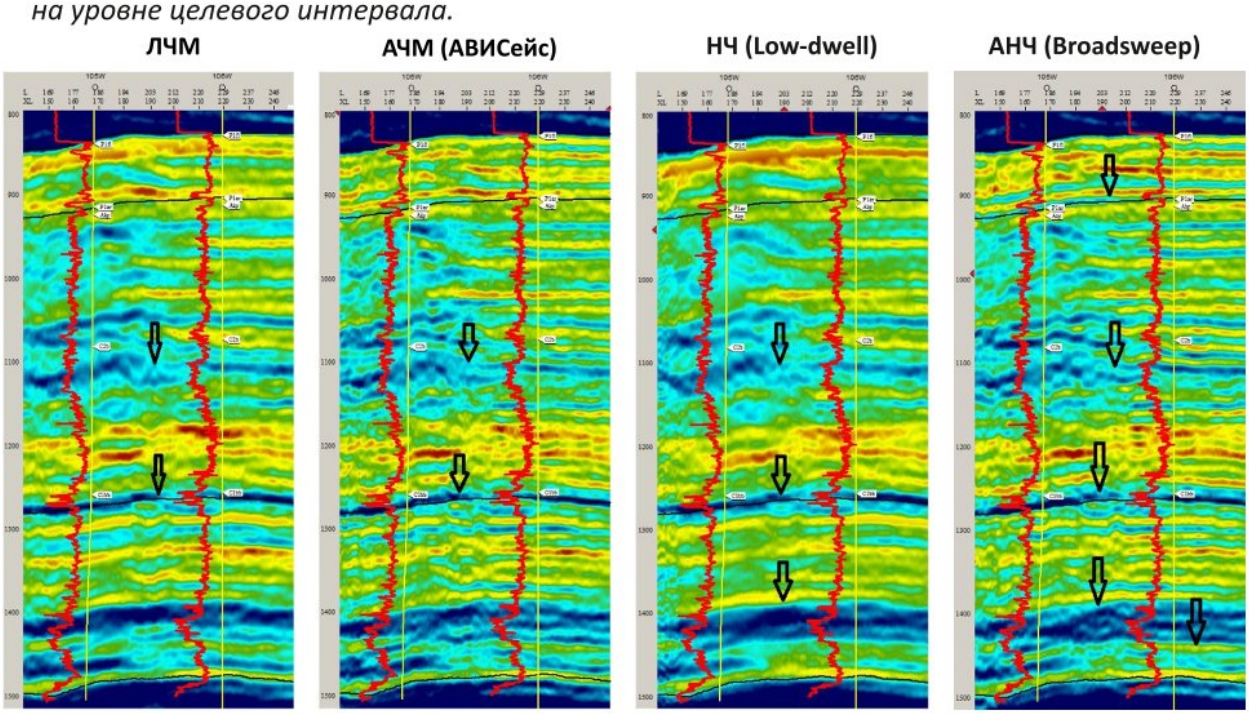
Визуально, на широкополосном варианте (АНЧ), на времени 910 мс, отчетливо выделяется маломощный пласт с повышенными значениями импеданса, четко коррелирующийся с реальными акустическими данными скважины 105. Как известно, при выполнении операции инверсии, в сейсмические данные добавляются модельные низкочастотные данные, которые обычно берут из скважинных исследований.

В нашем случае была выполнена инверсия с использованием модельных данных (35%)и без (значение модели 0.001%).

Далее подсчитывались среднеквадратичные отклонения значений акустического импеданса сейсмических данных откаротажных (табл.2).

На рис 17 показаны кроссплоты, которые также демонстрируют более высо-

Рис. 15. Сравнение фрагментов разрезов псевдоакустического импеданса на уровне целевого интервала.



▼ *Табл. 2. Оценка ошибки прогноза акустического импеданса.*

Тип данных	Скв.105 Hard	Скв.106 Hard	Скв.105 Soft	Скв.106 Soft
ЛЧМ	1953.2	1823.41	1889.53	2190.66
Адаптивный	1781.5	1868.41	1626.17	2208.57
Низкочастотный	1731.42	1624.4	1626.02	1683.35
Широкополосный	1692.91	1777.64	1595.87	1821.14

Hard – алгоритм HardConstraint. 35% ограничение влияния модели.

Soft – алгоритм SoftConstraint. Процент влияния модели на результат инверсии 0,001%.

кую достоверность низкочастотных и широкополосных данных.

Количественный анализ качества прогноза акустического импеданса показал, что расширение спектра по технологии Broadsweep® в область ультранизких частот на 1 октаву при полевых исследованиях ведёт к снижению ошибки прогноза акустического импеданса. При выполнении псевдоакустических преобразований с минимальным влиянием модели (имитация дефицита скважинной информации) выявлено снижение ошибки прогноза акустического импеданса в 1,25 раза.

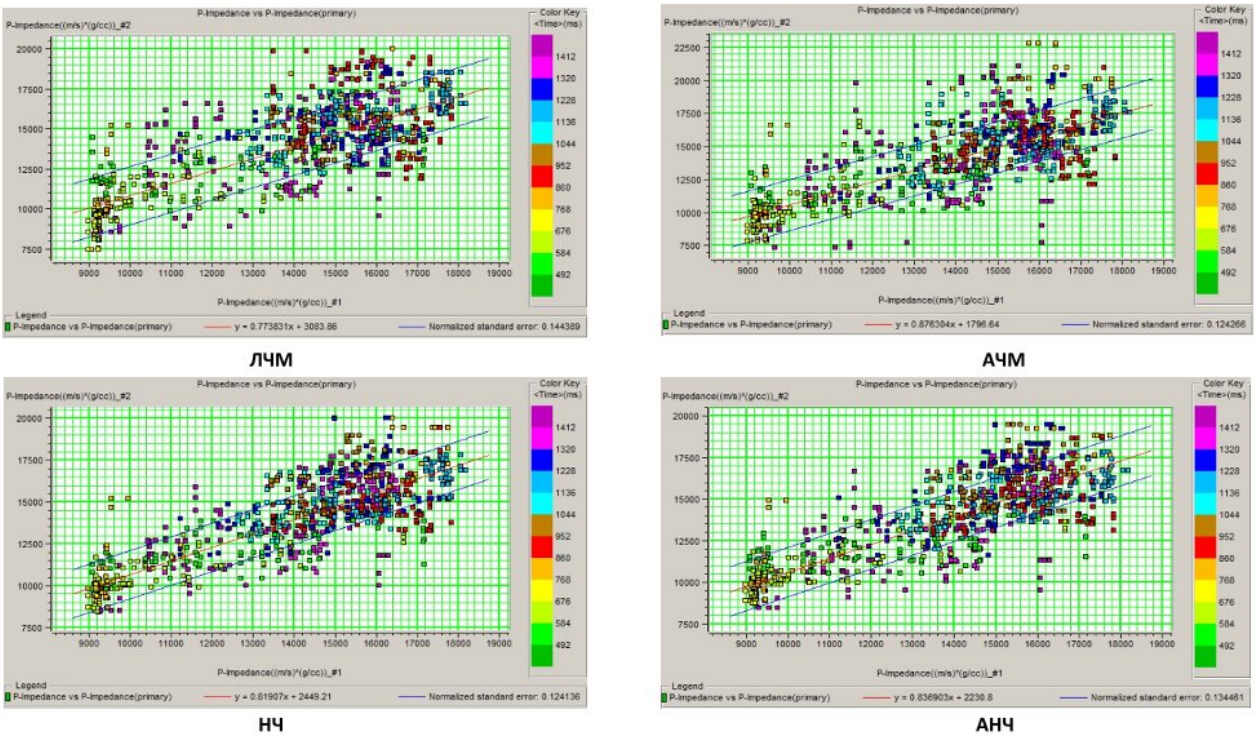
Таким образом, данный эксперимент убедительно показал необходимость расширения частот вибросигнала как в сторону низких, так и высоких частот, что позволяет повысить качество получаемого изображения изучаемых земных недр, а также увеличить достоверность проводимых исследований.

4. Анализ возбуждаемых и регистрируемых сигналов по модификациям адаптивной технологии

В рамках обработки результатов опытно-методических работ на площади Оренбург-4 был проведен анализ возбуждаемых и регистрируемых сигналов.

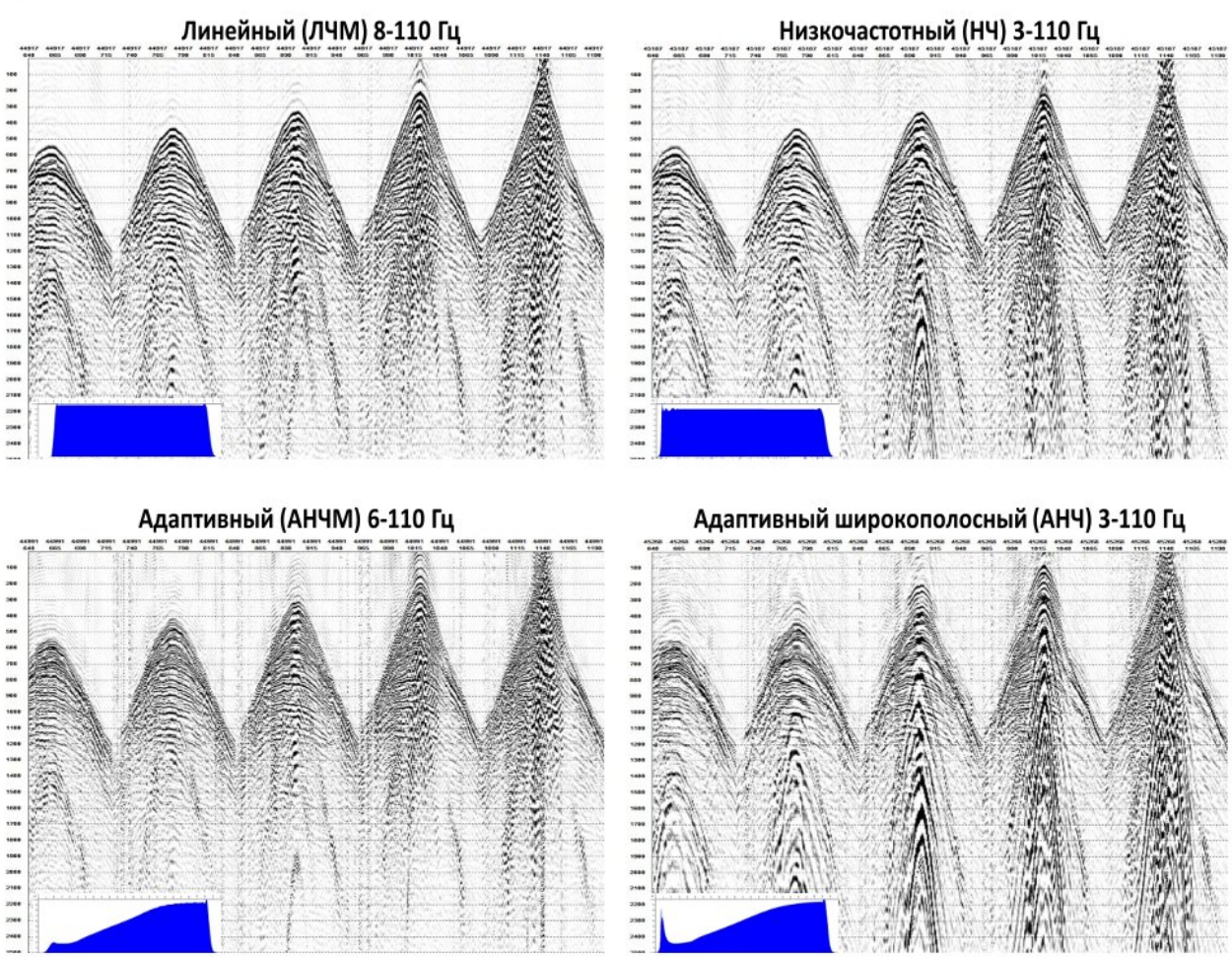
На рис. 18 показана часть корреллограмм, зарегистрированных при возбуждении стандартного ЛЧМ-сигнала (ΔF= 8 - 110 Гц), низкочастотного (НЧ 3 – 110 Гц), или в западной транскрипции –Low-dwell сигнала, адаптивного (6 - 110 Гц), адаптивного широкополосного (Broadsweep, 3 – 110 Гц) сигнала. Кроме этого изображены спектры соответствующих возбуждаемых сигналов.

Визуально можно отметить следующее. По сравнению с линейным, адаптивный сигнал дает значительно более разрешенный отклик; низкочастотный (Low-dwell), за счет смещения возбуждаемых колебаний в низкочастотную область (3 Гц), также выглядит более разрешенным, но в меньшей степени, чем адаптивный; адаптивный широкополосный (АНЧ или Broadsweep) такой же разрешенный как адаптивный, и за счет добавления низких частот (с 3 Гц) не страдает и глубинность исследований. Понятно, что в случае низкочастотного и широкополосного сигналов усиливается поверхностная волна, но в настоящее время, она при помощи многочисленных алгоритмов присутствующих в любой системе обработки, легко

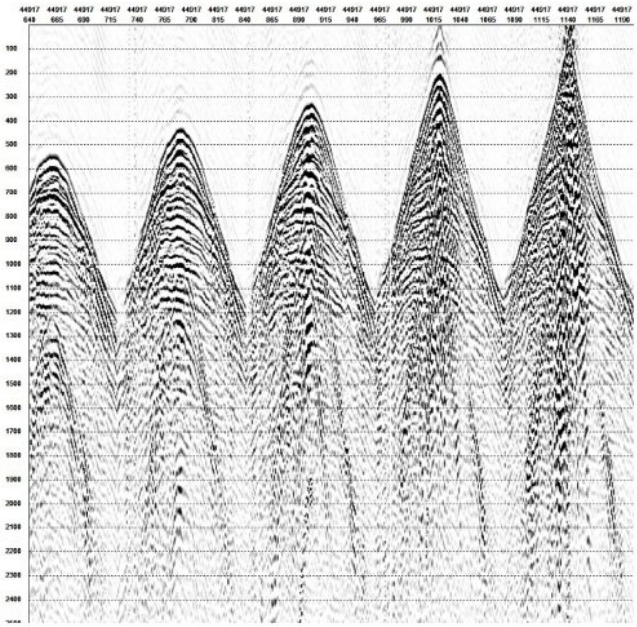


▲ *Рис. 16. Оценка ошибки прогноза акустического импеданса. Ось X – импеданс, измеренный в скважине; ось Y– импеданс, полученный из сейсмических данных.*

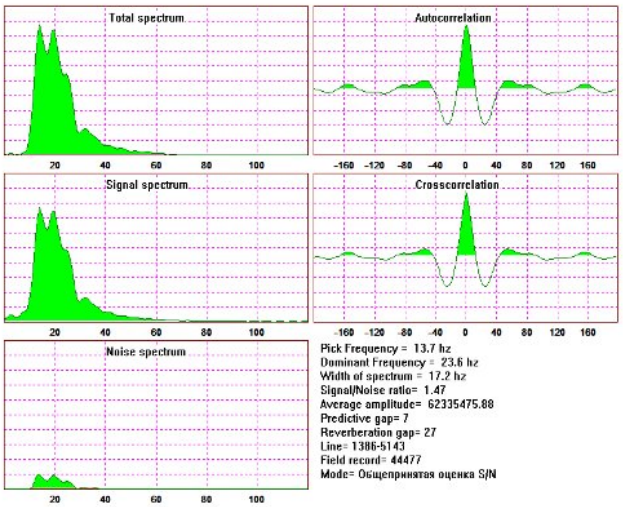
▼ *Рис. 17. Сравнение откликов на различные сигналы.*



Фрагмент коррелограммы



Спектральный анализ отклика



Спектр опорного сигнала

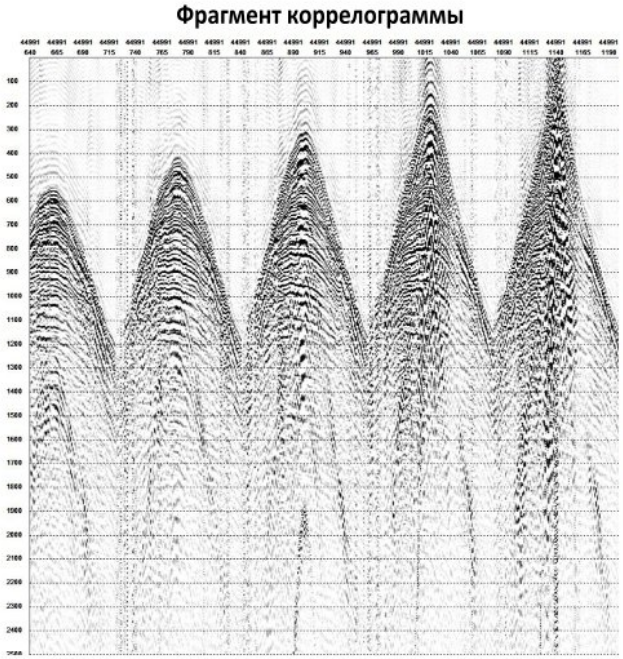


Функция корреляции опорного сигнала

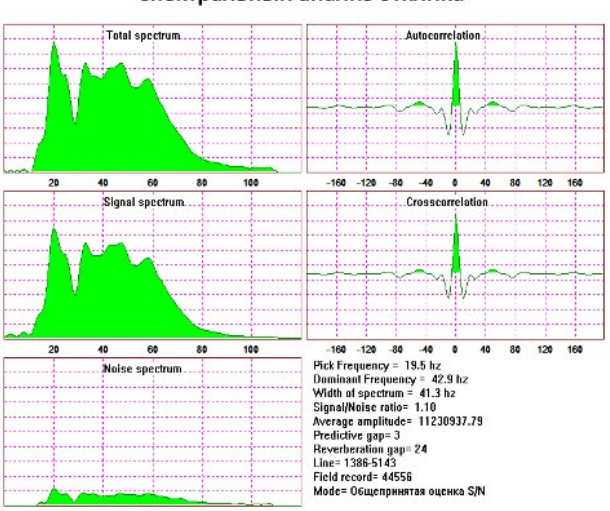


а

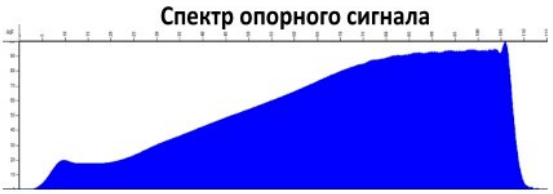
Фрагмент коррелограммы



Спектральный анализ отклика



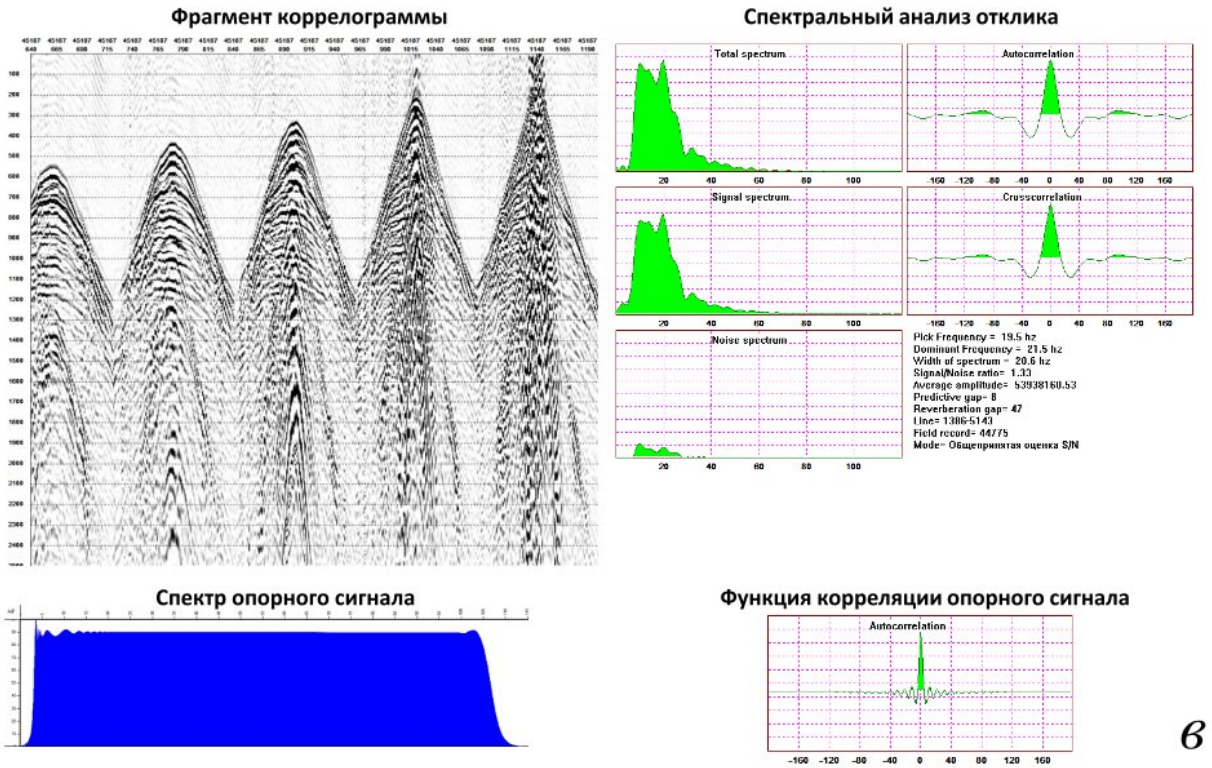
Спектр опорного сигнала



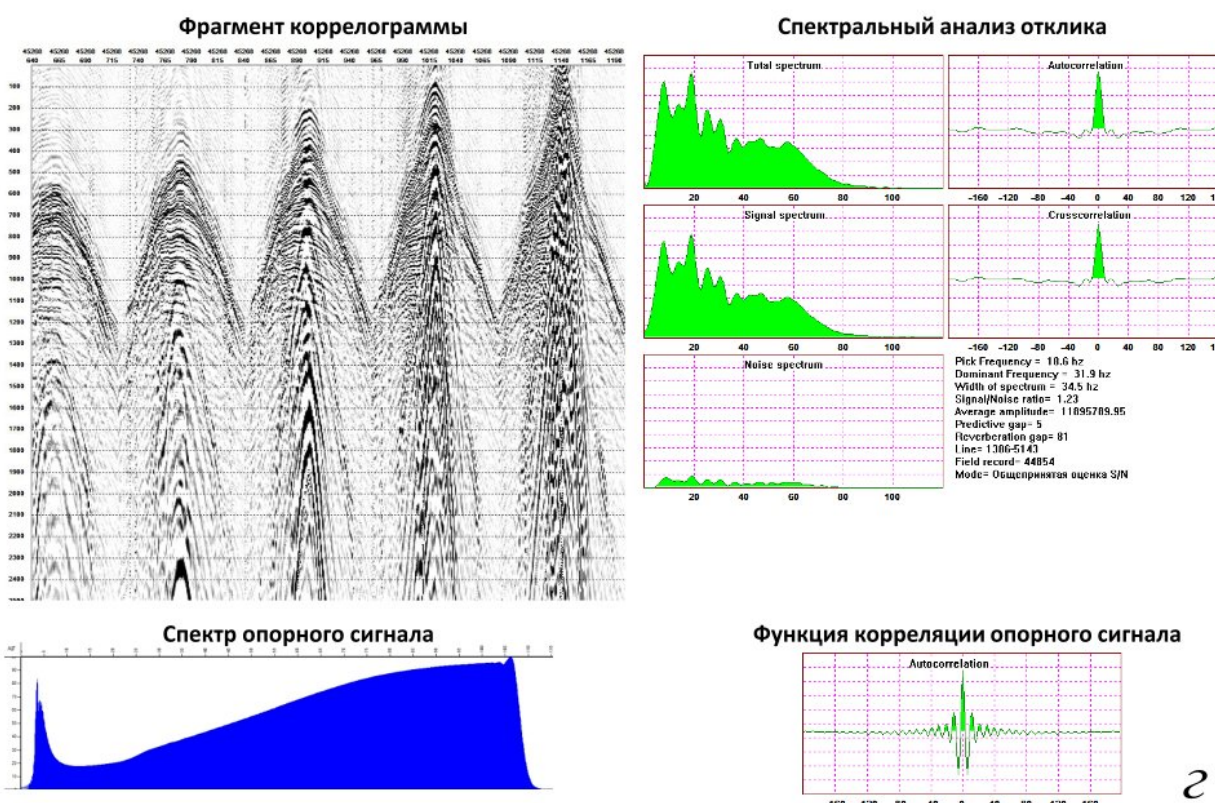
Функция корреляции опорного сигнала



б



в



г

▲ *Рис. 18. Коррелограммы и спектральные характеристики сигналов:*
а - ЛЧМ свип, 8-110 Гц, 12 с;
б - адаптивный (АЧМ) свип, 6-110 Гц, 12 с;
в - низкочастотный (Low-dwell, 3 – 110 Гц) свип, 12 с;
г - Адаптивный Широкополосный (АНЧ) свип, 3-110 Гц, 12 с

фильтруется без ущерба для сигнальной низкочастотной части.

На рисунках 18, а - г, изображены коррелограммы, а также спектры, авто- и кросскорреляционные функции посланных и зарегистрированных сигналов.

В случае линейного сигнала посылается весьма широкополосный сигнал (неплохая автокорреляционная функция с небольшим уровнем боковых лепестков) и регистрируется узкополосный сигнал с соответствующей кросскорреляционной функцией с расплывшимся основным максимумом и значительным уровнем боковых лепестков.

В низкочастотном варианте спектр за счет ухода в низкие частоты несколько расширился, однако это не сильно изменило вид кросскорреляционной функции сигнала. В случае адаптивного свипа спектр регистрируемого сигнала расширяется значительно и при широкополосном приобретает идеальный вид - его кросскорреляционная функция компактна, с минимальным уровнем боковых лепестков. Возникает как бы парадоксальная ситуация: в случае стандартного линейного сигнала посылаются в земную толщу условно сигнал с «хорошей» АКФ и регистрируется с «плохой» кросскорреляционной функцией. При адаптивном сигнале и тем более при широкополосном (Broadsweep) посылается «условно плохой» сигнал и регистрируется «хороший».

На рис. 6 и 9 изображены окончательные результаты обработки полученных данных, которые убедительно демонстрируют преимущество широкополосных сигналов.

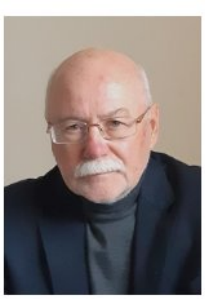
Литература

Bagaini C. [2008] Low-frequency vibroseis data with maximum displacement sweep. The Leading Edge, 5, 582 - 591.

Zhouhong Wei and Yuanzhou Pan [2015] Vibroseis source improvements towards broadband land acquisition. First Break, 33, 61-65.

Гридин П.А., Жуков А.П., Шехтман Г.А. [2014] Способ вибросейсмической разведки. Россия, Патент № 2570587, 22.10.2014.

Подробнее об авторах



Жуков А.П.

генеральный директор ООО "Геофизические системы данных", д.т.н.



Коротков И.П.

главный геофизик ООО "Геофизические системы данных", к.т.н.

Плотная сейсмика с применением кабельного оборудования и группированием приемников как альтернатива нодальным системам

Осипова А.В., Малюта С.И., Сибирский Федеральный Университет, Институт нефти и газа

В статье рассматриваются результаты работ с применением кабельных систем, с увеличенной плотностью системы наблюдений, проводится анализ работ за прошлые года. Применяется опыт прошлых лет применения трехкомпонентных источников.

Наземная сейсморазведка, импульсное возбуждение, группирование приемников и источников, регистрация колебаний

Введение

Современная сейсморазведка с каждым годом наращивает количество активных каналов на км2, пог. км. Такой термин как «стандартная методика» уже давно размыт, так как в данный момент методику подбирают под поставленную задачу, на каждом участке работ.

Расширяется круг геолого-геофизических задач, повышается требование к объему и качеству материала. Увеличение количества каналов продиктовано рядом причин: увеличение производительности работ, применение многокомпонентной регистрации для получения дополнительной информации о геологическом разрезе, мониторинг эксплуатации месторождений [Киселев, Малюта, 2020].

Увеличение плотности сейсмотрасс в современной сейсморазведке возможно путем как сгущения ПВ – увеличение числа точек возбуждения или регистрации в движении Glide [Федоров, Череповский, 2020], [Кузнецов и др., 2020], так и сгущения ПП. Увеличение числа активных каналов сегодня достигается в том числе и добавлением бескабельных каналов, уплотняющих кабельную систему наблюдения. Однако, в России и СНГ, основное число проектов выполняется по-прежнему кабельными сейсморегистрирующими системами. Что объясняется сочетанием консервативного подхода у заказчика к контролю качества, и относительно небольшим процентом бескабельных систем в эксплуатации [Wilcox, 2020].

Затраты на возбуждение одного ПВ обычно выше, чем затраты на установку одного ПП. И это становится определяющим при планировании полевых систем наблюдения. Кроме того, увеличение канальности повышает геологическую эффективность исследования за счет разрешенности и плотности сейсмического материала.

Сокращенный шаг между одиночными приборами позволяет применить лабораторное группирование (на этапе обработки данных) для подавления микросейсм [Кузнецов и др., 2013]. Группирование сейсмоприемников, являющееся общепринятым способом подавления ряда помех, представляет собой низкочастотную фильтрацию значительно ослабляющую высокочастотную часть спектра сейсмического сигнала. Действие такой фильтрации можно избежать, не снижая преимуществ группирования, если регистрировать сигнал каждого сейсмоприемника в группе отдельно, а затем реализовать оптимальное группирование при обработке. Естественно, такой подход требует значительного увеличения числа каналов регистрации.

Целью проводимого опыта в условиях

реальных производственных работ, была проверка качества полученного в результате уплотнения ПП материала в сравнении с проектной методикой.

ПРОГРАММА И МЕТОДИКА РАБОТ

Порядок проведения испытаний, результаты работ

В феврале 2021г. на участке работ Восточной Сибири (Иркутской области) были проведены опытно методические работы (ОМР). На данной площади это уже вторые ОМР с изменением плотности во время работ. Первые проводились в феврале 2014г., однако там использовались трехкомпонентные сейсмоприемники DSU 1. Работы в 2021г. выполнялись со сгущением приемной расстановки в местах возможной потери кратности

В таблице 1 представлены методики работ в 2014 и 2021 годах.

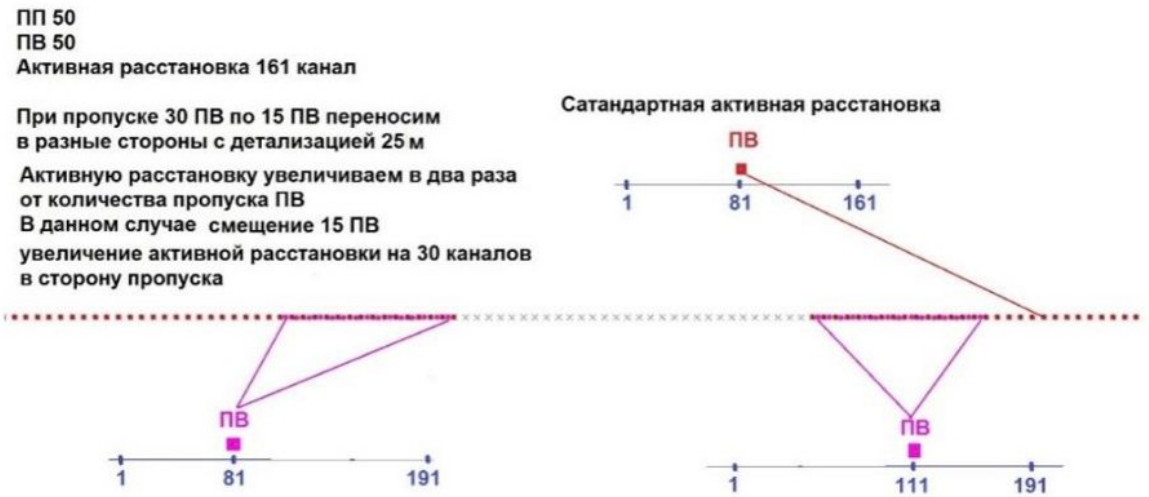
Оборудование на профиле расставлено по стандартной схеме, группирования сейсмоприемников 6 шт. на булавке (база 12,5 м) /на площадке (установка в точку), ПП через 50 м. в местах невозможности отработки данные ПВ сносились вдоль профиля на минимально возможные расстояния со своей активной расстановкой, таким образом активная

▼ *Табл. 1. Методика проведения опытных работ.*

Параметры методики полевых наблюдений	Опытные работы 2014г	Опытные работы 2021г
Метод	МОГТ-2D-3C	МОГТ-2D
Система наблюдения	Центральная, симметричная	центральная
Количество активных каналов	401	161/321(641)*
Минимальное удаление ПВ-ПП(м)	0	0
Максимальное удаление ПВ-ПП(м)	4000	4000
База наблюдения (м)	8000	8000
Шаг ПВ (м)	40	50
Шаг ПП (м)	20	50/25(12.5)*
Параметры возбуждения колебаний		
Источник возбуждения	Невзрывной	невзрывной
Количество накоплений	4	2-4
Тип источников	«Енисей –КЭМ-4»	«Енисей –КЭМ-4»
Количество накоплений	16	4-12**
База группирования источников	40	25
кратность	100	80/160(320)
Параметры регистрации колебаний		
Тип сейсмостанции	Sersel428xl	Sersel428xl
Тип сейсмоприемников	Трехкомпонентные сейсмоприёмники (одиночные DSU 1-4link)	GS-20DX 6S1P
Количество с/приемников на канал	6	6
Способ группирование с/приемников	Последовательно-параллельное	Линейное параллельно-последовательное
Шаг дискретизации (мс)	1	2
Длительность регистрации	8	4

**- на профиле 4 помимо обычного сгущения ПП до 25м было опробовано сгущение шага ПП до 12.5 м с установкой приемников в базу 12.5 целью получения материала лучшего качества в речной зоне, где передвижение источников невозможно ввиду поверхностных условий, а расстояние до следующего ПВ где отработка возможна, составляло 4600м.*

*** - на площади было применено САУ*



▲ *Рис.1. Схема компенсации пропуска ПВ при работах2Д.*

расстановка оставалась прежней, а пункт возбуждения был смещен относительно своего проектного положения. Однако при данном методе нельзя было сохранить номинальную кратность в местах невозможности отработки ПГН, данные участки принято считать местами падения кратности ниже номинальной (проектной).

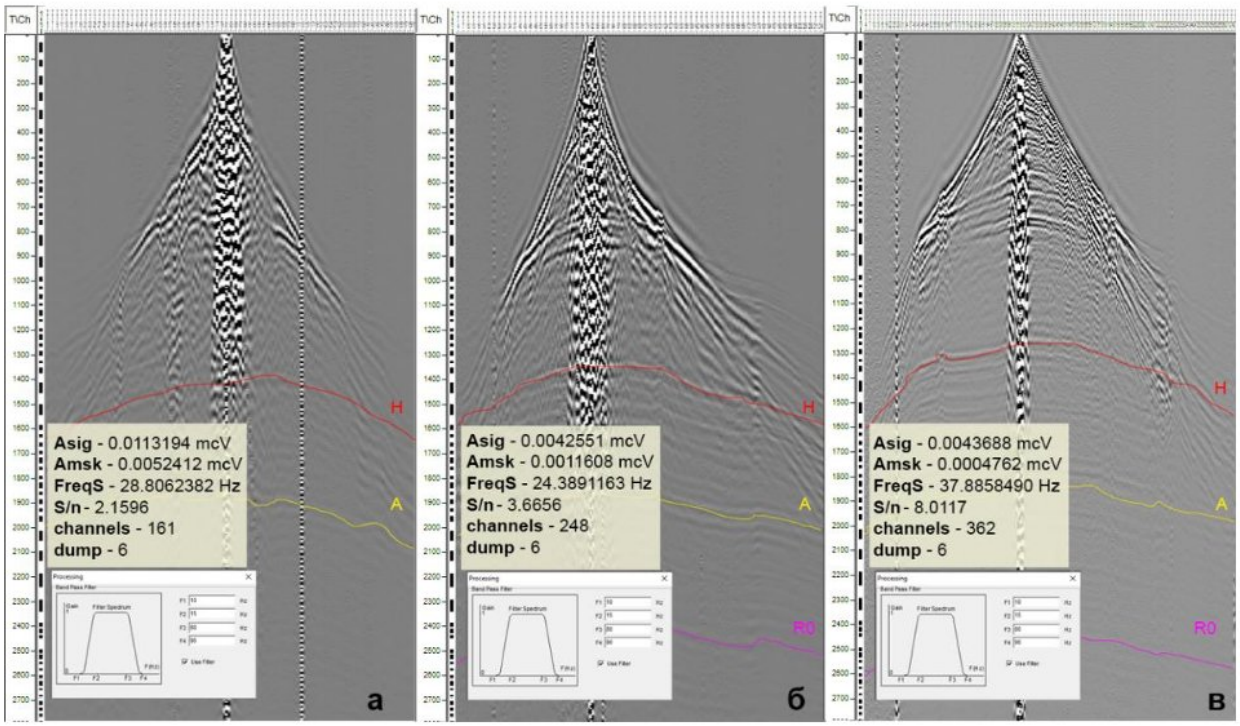
В таких ситуациях обычно сгущают ПВ или ПП, но так как большая доля затрат пойдет на организацию работ по возбуждению упругих колебаний, было очевидно, что целесообразно увеличивать количество активных каналов на один ПВ. Тогда в местах падения кратности шаг ПП составил 25м (рис.1), однако, оставалась еще одна проблема. Количество каналов на проекте было ограничено, а в месте самого большого разрыва 4600м (рис.2), на закрытие такого разрыва при шаге ПП равном 12.5 м с фланговым группированием сейсмоприемников для обеспечения сохранения кратности в данной зоне, потребовалось бы в 4 раза больше приемников и звеньев.

Разумеется, сохранить текущую производительность стало проблематично, так перематывать пришлось больше, а для этого потребовались дополнительные человеческие ресурсы, но и попросту не хватало оборудования.

Тогда был предложен плавный переход, от шага 50 до 12.5, сектор с наибольшим разрывом поделился на 4 равных длины, 1 и 4 участок приёмники устанав-

▼ *Рис.2. Схема пропуска ПГН на ПР4, фото источника на профиле.*





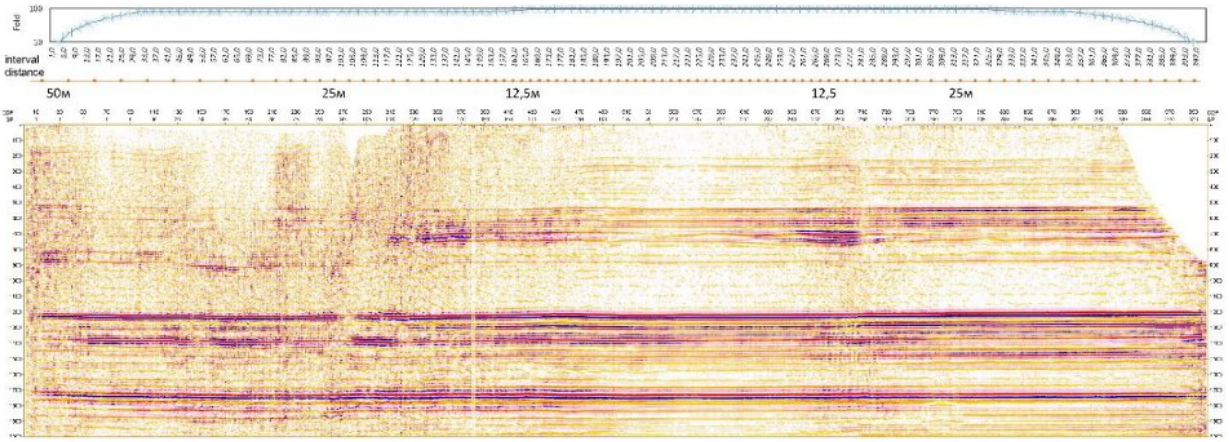
▲ *Рис. 3. Изменение качества сейсмограмм с изменением шага ПП*
а. шаг ПП 50м установка в точку
б. шаг ПП 25м установка в точку
в. шаг ПП 12,5м с фланговым группированием сейсмоприемников

ливались с шагом 25м, а 2 и 3 участок с шагом 12.5, таким образом была сохранена не только производительность на локальном участке, но и увеличена кратность, в центре разрыва на 2.5%, по краям 21,25%.

На рисунке 3 представлены сейсмограммы с разной плотностью приемников на пог.км полученные на профиле №4. Благодаря сгущению шага ПП и применению группирования приемников, разрешенность сейсмограммы выросла в 2-4 раза.

Несмотря на то что разница неочевидна на первый взгляд, при детальном анализе можно заметить, что шумов и различных помех в сейсмограмме стало меньше, как в самом конусе, так и в области микросейсм (после применения полосового фильтра 10-15-80-90), при увеличении канальности стали лучше просматриваться горизонты на сейсмограмме. При 161 канале в режиме пикировки это было сделать проблематично, то при 361 канале пикировка упростилась в разы, а автопикировка стала работать с меньшей погрешностью.

Разница наглядна. Эффект, возникающий вследствие группирования сейсмоприёмников, объясним тем, что отражённые волны, приходящие из нижнего полупространства, характеризуются фронтами близкими к горизонтальным и поэтому практически одновременно подходят к различным сейсмоприёмникам группы, синфазно суммируясь и увеличивая, таким образом, амплитуду на выходе группы в ≈N раз, где N – число сейсмоприёмников в группе. Вместе с тем поверхностные волны-помехи, распространяющиеся с относительно низкими скоростями вдоль профиля, приходят к соседним приборам группы со значительными фазовыми сдвигами и поэтому, по сравнению с синфазным суммированием, при сложении могут существенно ослабляться. Тем самым



▲ *Рис. 4. Изменения качества разреза с изменением шага ПП, вдоль профиля №4.*

при использовании групп сейсмоприемников можно получить более качественный материал, нежели с одним геофоном (установкой группы в точку).

Изменение шага ПП вдоль профиля (рис.4) показано схематично (так как при данном масштабе разглядеть ничего не получится), но с соблюдением пропорций. Изменения кратности построенного разреза, видно невооруженным глазом. Благодаря высокой плотности приемников удалось не только сохранить кратность, но и повысить разрешенность полученного материала, на рисунке 5 представлен разрез без использования функции F-X деконволюции, с применением миграции по сейсмограммам, а привязавшись к основанию, можно выделить нужные горизонты

Поверхностная геология района работ спокойная, с минимальным количеством интрузии, сейсмогеологические условия благоприятные. Этот факт позволяет получить материал хорошего качества на суммарных разрезах несмотря на работу при повышенных шумах. В целом, экспертная обработка профиля 4 показывает, что качество полученных сейсмограмм по профилю удовлетворительное, качество полученного разреза – хорошее.

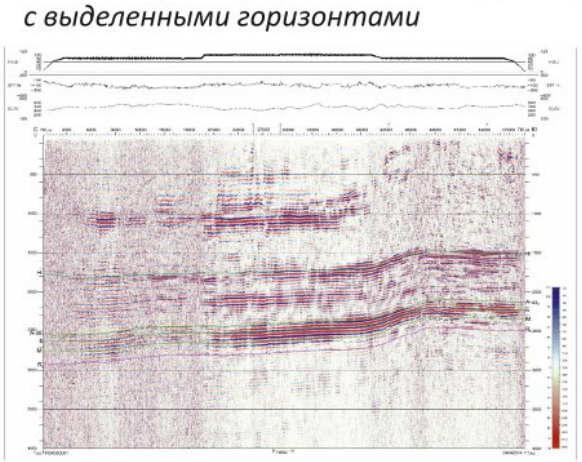
Следует заметить, что дальнейшее повышение разрешенности возможно при более плотной съемке и отказе от группирования источников, например, при использовании технологии работы источников в движении, когда возбуждение осуществляется через 5-8 м [Балан-дин и др., 2019].

Разумеется, не надо забывать, что с данной плотностью на работах 3Д при использовании кабельных систем неизбежны другие проблемы (утечки, доставка), которые возникают в следствии несовершенства данных систем. Бескабельные же системы лишены этих недостатков, и обладают рядом других преимуществ, таких как легкость, компактность используемых приемников.

ВЫВОДЫ

На основании проведенного опыта во время производственных работ и полученных результатов можно сделать

▼ *Рис. 5. Разрез - профиль№4 без F-X_decon, с выделенными горизонтами*



следующие выводы:

Эффективность используемых групп зависит от величины базы и числа элементов группирования, от распределения чувствительности для различных элементов интерференционной системы, а также от параметров волн-помех и целевых отражений.

Сравнение сейсмических данных по профилю 4, говорит о том, что увлечение плотности системы наблюдения дает не только разрешенность и качество полученного материала, но и производительность при работе.

Небольшое расстояние между каналами позволит увереннее осуществлять обработку и интерпретацию записей первых вступлений с построением детальной скоростной модели, необходимой для вычисления статических поправок.

Несмотря на то, что за нодальными системами будущее, особенно в плане реализации новых технико-методических приемов сейсморазведки, кабельные системы, на данный момент и ближайшие 5-10 лет могут составить конкуренцию новым системам, при условии новых подходов использования традиционных систем наблюдения, в частности, при увеличении плотности наблюдений.

Литература

1. Абдулвалиев М.Т., Тиссен А.П., Череповский А.В., 2020, Контроль качества в современных бескабельных регистрирующих системах: Приборы и системы разведочной геофизики, №1;

2. Детков В.А., Баландин П.В., Копылов М.А., 2019, Технология возбуждения упругих колебаний в движении GLIDE: Приборы и системы разведочной геофизики, №2;

3. Киселев В.М., Малюта С.И., 2020, Оценка беспроводной телеметрии WANS и кабельных систем ARAMARIESи SERSELна основе спектрального и микросейсмического анализа: Приборы и системы разведочной геофизики, №2;

4. КузнецовЕ.С., БаландинП.В., Дробинский А.А., Череповский А.В. 2021, Результаты анализа полевых данных ОМР МОГТ-3D, полученных по технологии возбуждения сигнала в движенииGLIDE: Приборы и системы разведочной геофизики, №1;

5. КузнецовВ.М., ШехтманГ.А., Череповский А.В., 2013, Технические средства в многоволновой сейсморазведке: Технологии сейсморазведки, № 1;

6. ФедоровА.Б., Череповский А.В., 2020, Скользящие цифровое накапливание при импульсном возбуждении упругих волн в движении по технологии GLIDE: Приборы и системы разведочной геофизики, № 4;

7. Череповский А.В.,Пришло ли время отказаться от группирования в пользу одиночных сейсмоприемников? // Геофизика. 2010. № 3;

8. Dean, T., Tulett, J. and Barnwell, R., 2018, Nodal land seismic acquisition: The next generation. First Break, 36;

9. Wilcox,S., What to expect in the terrestrial nodal systems segment?:First Break; February 2020, Vol 38, No 2.

Подробнее об авторах



ОСИПОВА
Анна Владимировна

аспирант, ассистент кафедры Геофизики, Сибирский Федеральный Университет, Институт Нефти и Газа



МАЛЮТА
Станислав Игоревич

геофизик, «ГЕОТЕК-ВГК»,

ООО «НОВЫЙ ВОСТОКГЕО» - - развивая горизонты сотрудничества

Махортов П.Р., Бызова Д.А. ООО «Новый ВОСТОКГЕО»

Сегодня в каждой сервисной - геофизической компании умеют считать деньги. И в частных, и в государственных. Экономика выполнения геофизических проектов складывается из многих составляющих, но главное для любого проекта – надежное современное эффективное оборудование, которое не подведет, сервис которого осуществляется профессионально и вовремя. Конечно, производительность регистрации сейсмоданных и, как следствие, себестоимость зависят от опыта и слаженности работы коллектива партии и многих иных факторов. Но если сейсморегистрирующее оборудование и источники возбуждения не налажены, опыта геофизиков-сейсмиков будет недостаточно.

ООО «НОВЫЙ ВОСТОКГЕО»

Компания начала свою деятельность в 2007 году. Сегодня компания заняла свое устойчивое место на российском рынке в обеспечении сервисных геофизических компаний запасными частями и оборудованием для проведения геологоразведочных сейсморазведочных работ. С момента образования компании основной целью является создание комплекса мероприятий, позволяющих снизить затраты и повысить эффективность работы наших партнеров – сервисных геофизических компаний за счет снижения нагрузки на трудовой коллектив партии. Мы создаем комфортные условия работы нашим клиентам, подстраиваясь под их возможности и специфику выполняемых ими проектов. Это происходит и в части внедрения технологий, при поставке геофизической продукции, сроков оплаты, выполнению гарантийного и постгарантийного обслуживания.

ООО «НОВЫЙ ВОСТОКГЕО» - единственный официальный представитель в России, СНГ, Индии группы заводов производителей, которые разрабатывают, испытывают, внедряют новые технологии для сейсморазведочной, геофизической, буровой и нефтяной отраслей. В группу производителей входят следующие заводы: «Zhuozhou Chenjia Electronic Technology Co., Ltd., «Hebei Chenhua Youxin Electronic Technology Co., Ltd.», «Baoding Yongcheng Tianfeng Geophysical Equipment Co., Ltd.», «Zhuozhou Top Eagle Technology Co., Ltd.».

Казалось бы, как компания-представитель, связанная учредителями и соглашениями с заводами, стоящая между производителем и конечным пользователем может снижать прямые затраты при выполнении геофизического проекта по сбору данных? А составных элементов такой экономии несколько. Во-первых, это дорогие и высококвалифицированные сервис-инженеры, работающие в штате компании производителей, связанные со специалистами ООО «НВГЕО». Таких специалистов, знающих специфику самого разнообразного геофизического оборудования, трудно встретить в штате производственных компаний. В геофизических компаниях их содержание не целесообразно и достаточно затратно из-за отсутствия постоянной загрузки.

Второй немаловажный аспект – несмотря на то, что фактически ООО «НВГЕО» является связующим звеном между производителями и конечным пользователем, уникальные условия

эксклюзивного представительства всегда оказываются лучше, чем условия, предлагаемые в случае прямых контактов. Это связано с тем, что представительство готово предложить пользователю ту продукцию, которую он запрашивает, по желанию альтернативную с внедрением инновационных технологических решений, с комплексом испытаний и тестирования без несения каких-либо дополнительных затрат пользователя. Также, представительство берет на себя в комплексе все возможные риски, связанные с согласованием производства продукции, контролем качества на всех этапах производства, доставки, таможенным оформлением, гарантийным обслуживанием, сервисом, обеспечением комплектующими в сжатые сроки по истечению гарантийного обслуживания, предлагая при этом поставку с минимальным авансом или без авансового платежа.

Производственные возможности производителей обеспечивают бесперебойную и надежную работу по производству продукции как по отдельности, так и в кооперации с несколькими заводами.

Например, завод «Baoding Yongcheng Tianfeng Geophysical Equipment Co., Ltd.» может изготовить 10 000 групп геофонов, состоящих из 12 геофонов YF 20DX-10Hz за 15-20 дней, а низкочастотных геофонов YF Solo 5Hz, состоящих из двух приборов на базе 0,5 м в количестве 50 000 групп за 15 дней. Этот завод может кооперировать с «Hebei Chenhua Youxin Electronic Technology C o., Ltd.» по производству беспроводных систем сбора данных A – Node. Так, данное оборудование в количестве 10 000 штук будет произведено в течение 30 дней.

Приведем краткие показатели реализованной продукции:

• Группы геофонов – более 700 000, в том числе:

- Группа геофонов YF 20DX 10Гц, маршфоны, 6S1P,3SP1 6S2P - 395 300 шт
- Группа геофонов YF SOLO 5Hz – 1SP1, 1SP1, 3SP1 – 145 000 шт
- Двухкомпонентный геофон-гидрофон GH203 – 4 500 шт
- Группа геофонов YF SOLO 10Hz – 1SP1 – 25 000 шт
- Группа геофонов YF SOLO 5Hz 3C – 3 000 шт
- Гидрофон LK 25 – 7 000 шт
- и др.

• Датчики геофона YF-SOLO-5Hz, 20DX - 10Hz YF-SOLO-10Hz - более 390 000 шт

• Кабельные секции 428 ST+ более 15 492шт, кабельные секции 408-428 WPSR - более 1 000 шт,

• Кабельные секции 408 ST+ - более 5 300 шт,

• Кабельные секции 508 ST+ - более 2 500 шт

• Кабель звена Aram Aries - более 2 291 шт

• Кабель звена R8 - более 15 712 шт

• Кабель ST+ - более 370 000 м.

ООО «НОВЫЙ ВОСТОКГЕО» поддерживает оптимальное количество товаров на складе в городе Тюмени для осуществления оперативных и бесперебойных поставок комплектующих и иного оборудования заказчику в самые короткие сроки.

На сегодняшний день ООО «НОВЫЙ ВОСТОКГЕО» реализует более 550 видов запасных частей и комплектующих к ведущим системам сбора сейсмических данных Sercel 408, 428 и 508, Aram-Aries, группам геофонов и др., а также программное обеспечение «GeoEast» для обработки интерпретации сейсмических данных.



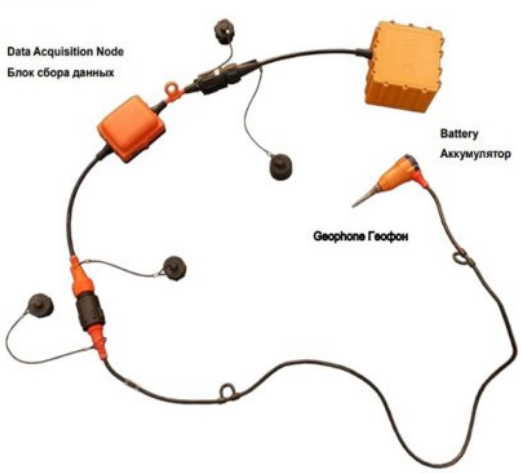
▲ *Рис. 1. Низкочастотный геофон YF-SOLO-5Hz, предлагаемый для реализации конечному потребителю или для сдачи в аренду.*

Новации и разработки

Еще одним существенным преимуществом постоянной работы геофизических компаний с ООО «НОВЫЙ ВОСТОКГЕО» является оперативность в получении информации о новейших разработках оборудования, о развитии технологий, происходящих на мировых рынках геофизического сервиса. Это объясняется тем, что представленная в России группа производителей одновременно производит и разрабатывает продукцию для заказчиков по всему миру.

Беспроводная система сбора данных WANS, широкополосные геофоны TOP 2.5 Гц, TOP 4.5 Гц работающие в диапазоне от 2,5 до 500Гц, разборные кабельные секции Sercel 428, транзитная система сбора данных 428, литий-ионные источники питания для систем сбора данных, малые буровые станки на гусеничном ходу ZX, малые буровые станки для работы в горной местности TSP, резиновые полотна для виброисточника NOMAD 65 – вся эта продукция появлялась на российском рынке исходя из спроса сервисных компаний.

▼ *Рис. 2. Бескабельное оборудование WANS.*







▲ ► *Рис. 3. Буровая установка ZX-TD40 в работе на проекте на Северном Кавказе и в Индии..*

Помимо реализации электронного оборудования и комплектующих, ООО «НОВЫЙ ВОСТОКГЕО» предлагает широкий спектр продукции для буровых работ. Одной из последних разработок инженеров завода «Hebei Chenhua Youxin Electronic Technology Co., Ltd.» стал малый буровой станок на гусеничном ходу ZX-TD30 позволяющий бурить скважины до 25-30 м, специально созданный с учетом представленных замечаний к предыдущей модели ZX-TD40. Буровой станок изготовлен с учетом климата России. Особенностью станка является то, что ширина составляет не привычные 3 м, а 2,5 м, что делает его более компактным и манёвренным. Также, это позволяет использовать более узкий профиль при выполнении полевых производственных работ, что ведет к уменьшению воздействия на экологию окружающей среды.





ООО «НОВЫЙ ВОСТОКГЕО» с группой производителей внедряет экологичные источники энергии, к которым относятся аккумуляторные батареи TOP EAGLE, произведенные по технологии GEL и AGM, батареи Li-Ion, солнечные панели. Большим преимуществом аккумуляторных батарей Li-Ion является большее количество циклов заряда/разряда (в среднем 3 000 – 4 000 циклов), защита от разряда, защита от перезаряда и заряда при низкой температуре, по сравнению с батареями AGM и даже Gel, что говорит о долговечности этих батарей. Также, преимуществом аккумуляторных батарей Li-Ion является низкий вес. Напри-

мер, батарея Li-Ion в кейсе и с кабелем питания 120 Ач весит всего 10 кг, а батарея AGM при такой же емкости будет весить в среднем 28-30 кг. При выполнении полевых геофизических работ, специалисты вынуждены переносить аккумуляторные батареи весом практически 30 кг, если ещё вдобавок к этому, батарея комплектуется ударопрочным кейсом, то общий вес комплекта составляет около 35 кг, в связи с чем для переноски батарей требуется, как минимум, 2 сотрудника, которые будут заниматься доставкой батарей на место назначения. Преимущество использования батарей Li-Ion в данном случае очевидно.

Аренда и ремонт

Также, ООО «НОВЫЙ ВОСТОКГЕО» занимается арендой оборудования и запасных частей для сейсморазведочных работ. В связи с чем обеспечивается наличие на складе групп геофонов, комплектующих, телеметрических систем, систем синхронизации, тестеров для проверки ремонта и оборудования.

Перспективы и направления

· Беспроводные системы сбора данных с мониторингом и без третьего поколения WANS, A-NODE, новые универсальные системы

· Буровые станки, малые вездеходные машины на гусеничном ходу, блочные ручные буровые станки.

· Экологические энергоёмкие системы питания.

· Широкополосные геофоны от 2,5 до 500Hz

· Транзитные и морские системы виде автоматических дронов субмарин.



▲ *Рис. 4. Широкополосный геофон.*

Динамично развивающая сотрудничество со всеми геофизическими компаниями в России и СНГ ООО «НОВЫЙ ВОСТОКГЕО» расширяет ваши возможности, позволяя браться за большие и ресурсозатратные проекты, оптимизируя затраты своих партнеров.

Подробнее об авторах



Махортов
Павел Романович

ООО «НОВЫЙ ВОСТОКГЕО»



Бызова
Дарья Андреевна

ООО «НОВЫЙ ВОСТОКГЕО»

Сейсмический проект по изучению оползневых систем в кратере Салази на о. Реюньон с использованием датчиков SmartSolo.

Реюньо́н (фр. Réunion) — остров в Индийском океане, расположенный в 700 км к востоку от Мадагаскара. С 1946 года входит в состав одноимённого заморского департамента Франции. Территория гориста, так как остров имеет вулканическое происхождение. Высшая точка — потухший вулкан Питон-де-Неж (3069 м), вторая по высоте — Гро-Морн (3019 м) в массиве Питон-де-Неж. На юго-востоке департамента есть действующий вулкан Питон-де-ла-Фурнез (Piton de la Fournaise), высотой 2631 м. Лавовые поля занимают около 20 % площади Реюньона.

Центральная часть острова — разрушенная эрозией вулканическая область, изобилующая обширными цирками, днища которых заняты плодородными вулканическими почвами. Реки изобилуют водопадами.

К циркам примыкают столовые плато. В западной части департамента они покрыты лесами или расчищены под плантации. Юго-восточные плато местами лишены почв, сложены из чёрных базальтов. Климат тропический, пассатный.

Цирк Салази - самый популярный туристический объект острова. Так же, как Силао и Мафат, с которыми он разделен потухшим вулканом Питон де Неж, цирк Салази расположен на огромном вулканическом плато. В этом цирке больше всего водопадов и плантаций шушу, здесь буйная живописная природа. Дорога в Салази ведет через горные перевалы, разрезанные тысячами водопадов, самый знаменитый из которых Свадебная Фата. Тысячи маленьких каскадов появляются в разных местах



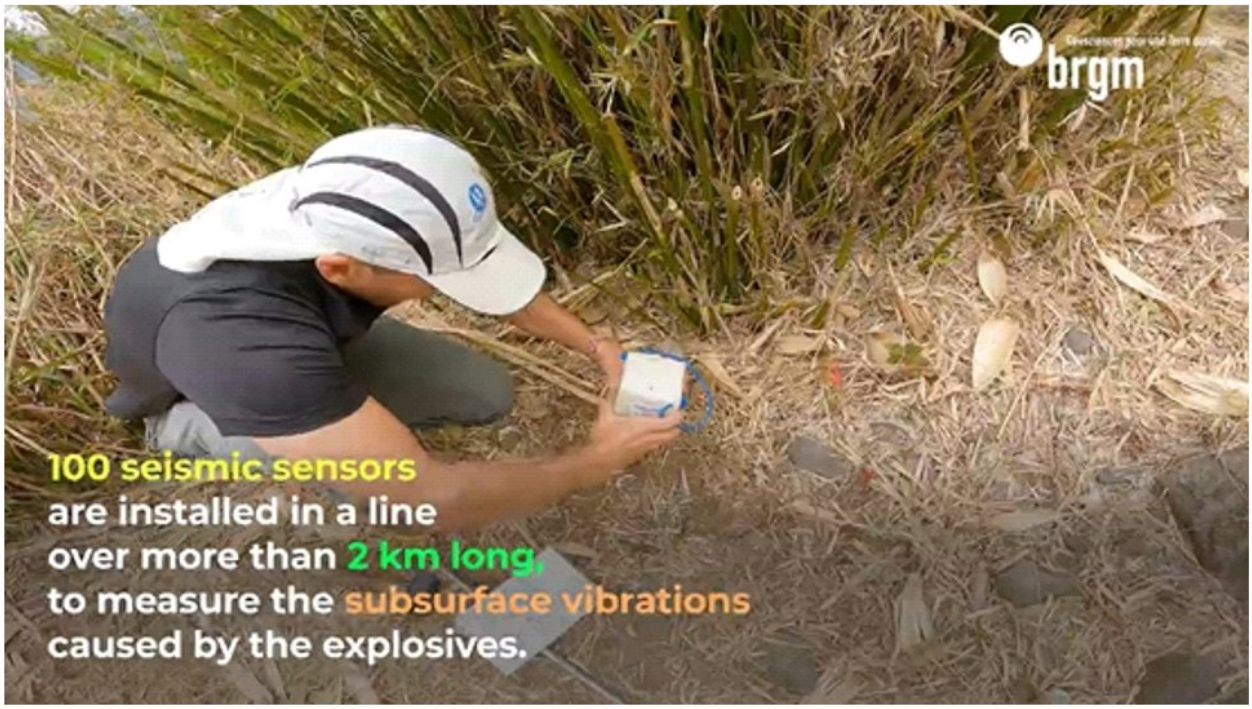
▲ *Рис. 1. Космоснимок острова Реюньон.*

горы, тонкой сетью опутывая ее, как кружево.

Однако, данная территория подвержена серьезным рискам оползневых явлений. Достаточно сказать, что некоторые оползни уже в 21 веке приводили к человеческим жертвам. А кроме того, это постоянная серьезная угроза для дорог и зданий. Подразделение BRCM на острове Реюньон уже 20 лет ведет мониторинг крупномасштабных оползней в цирке Салази.

Чтобы лучше понять, что вызвало один из этих оползней, ученые BRGM получили изображение недр с помощью сейсморазведки. Источником возбуждения были взрывы в скважинах глубиной 2 метра. 100 трёхкомпонентных сейсмических датчиков SmartSolo были установлены в линию длиной более 2 км.

Возбуждение сейсмических колебаний осуществлено в 17 скважинах через 100 метров вдоль прямой линии, проходящей в крест тела оползня. Задача исследования – получение сейсмического разреза высокого разрешения в крест тела оползня. Ученые BRGM также смогут



▲ *Рис.2. Установка датчиков SmartSolo на проекте в цирке Салази, о.Реюньон*

определить, была ли вода в оползне. Эти данные будут анализироваться в течение нескольких месяцев, чтобы получить изображение недр и дать прогноз развития оползневых явлений в данном регионе с целью минимизации геологических рисков и предупреждения оползневых явлений.

▼ *Рис. 3. Активная эрозия оврагов во время сильных дождей. Желтые контуры обозначают примеры зон активной эрозии, синий контур-стабильный участок грунта.*

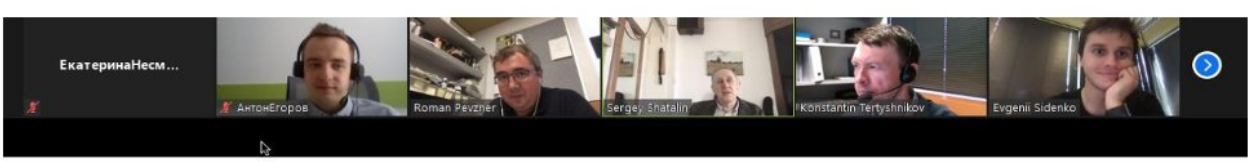


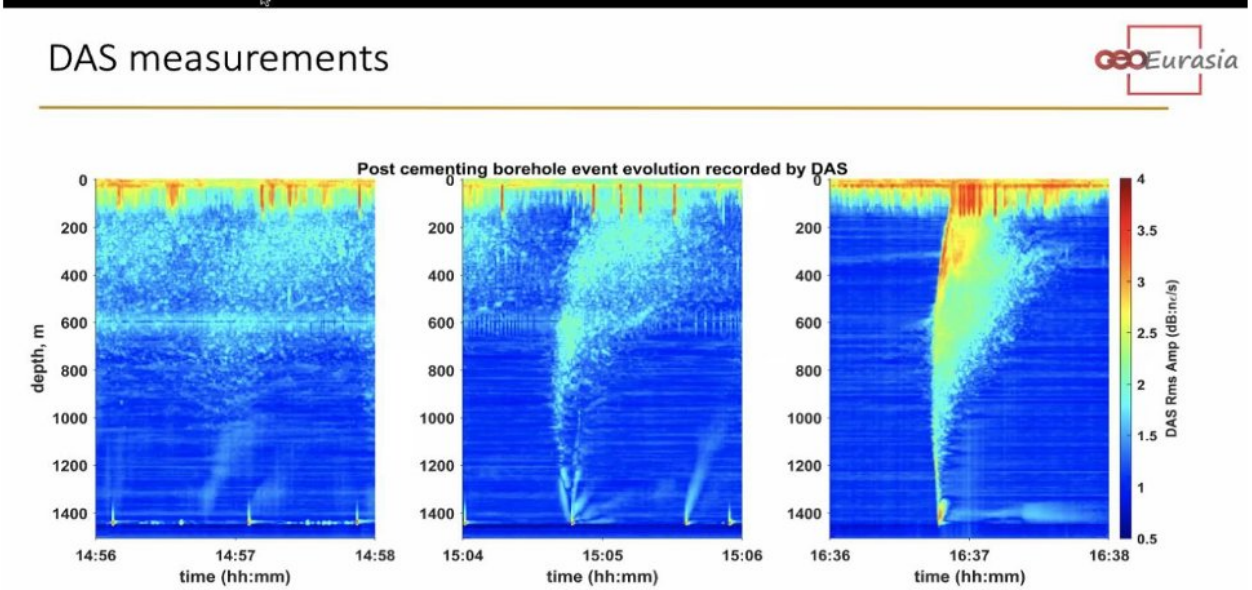


Результаты семинара: «Исследования с использованием оптоволоконных распределённых акустических систем (DAS) для разведки и мониторинга разработки месторождений»

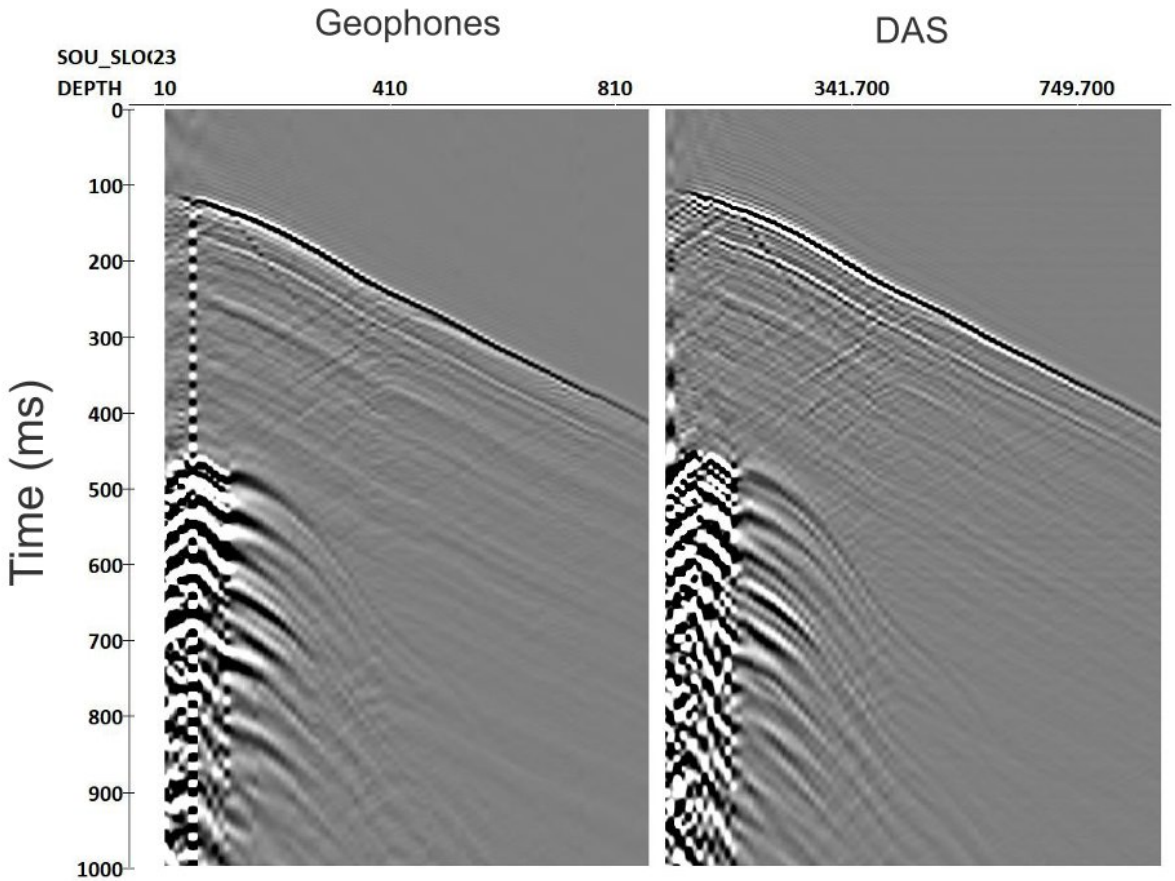
- Михаил Токарев, председатель Московского отделения МО ЕАГО
- Роман Певзнер, Curtin University
- Сергей Шаталин, Silixa Ltd

В рамках цикла мероприятий Московского отделения Евро-Азиатского Геофизического Общества, 18-19 мая в on-line формате прошел семинар «GeoEurasia Fiber Optic Sensing Technology» по исследованиям с использованием оптоволоконных распределённых акустических систем (DAS) для разведки и мониторинга разработки месторождений. Информационной площадкой выступила ГЕОЕВРАЗИЯ.





В мероприятии приняли участие более 80 специалистов из 43 компаний. За два дня работы семинара было представлено 27 докладов. Среди участников семинара были представители таких компаний, как: Aramco Innovations LLC, Curtin University, Силикса Лтд, ПО Петрофайбер, ООО "Т8 Сенсор", ООО "ЛУКОИЛ Инжиниринг", АО "Башнефтегеофизика", ООО "Газпром ВНИИГАЗ", ООО "Газпром недра", ООО "РН-Шельф-Арктика", Halliburton, Schlumberger, Sercel, TGT



▲ *Сравнение данных продольного ВСП зарегистрированного при помощи скважинного прибора с электродинамическими сейсмоприемниками (слева) и DAS (справа) в геолаборатории Curtin University, Перт, Австралия.*

Diagnostics, ИАиЭ СО РАН, ИБРАЭ РАН, ИГЕМ РАН, МГУ имени М.В. Ломоносова, ООО "Инкаб", ООО "СЕДАТЭК", ООО "Сплит", ООО "Тота Системс», ООО Предприятие "ФХС-"ПНГ", ФИРЭ РАН и многие другие.

Тема использования оптико-волоконных технологий для решения задач геологоразведки, инженерных изысканий, разработки месторождений и мониторинга состояния сооружений с использованием распределенных акустических (DAS), температурных (DTS) и деформационных (DSS) систем в скважинах и на поверхности является очень актуальной в современной действительности. Оптоволоконные сенсоры позволяют с высокой точностью и оперативно измерять распределение статической и динамической деформации (сейсмического воздействия) и температуры, что важно как для задач исследований, так и контроля параметров разработки.

В рамках семинара были представлены технологические особенности оборудования для решения различных задач. Особенно важным были примеры практического применения оптико-волоконных технологий и сравнения результатов с другими методами. Большой объем практических исследований по данной теме сделан в Curtin University (Австралия). Представлены интересные результаты сравнения регистрации стандартным оборудованием ВСП и оптико-волоконными датчиками. Полученные данные имеют очень хорошую сходимость, при этом показаны существующие проблемные вопросы по определению поляризации и планы дальнейших исследований.

Один из основных моментов, на который можно обратить внимание, является большая теоретическая и практическая база выполняемых в РФ исследований данного вопроса и действий по внедрению технологии в производственные проекты.

Большой интерес среди участников форума вызвали примеры практического применения оптоволоконных датчиков на реальных проектах по разработке высоковязких нефтей, наблюдения в горизонтальных скважинах, с целевым интервалом под базальтовыми породами, являющимися экраном для поверхностной сейсмики. Использование постоянных систем мониторинга скважин (монтирование оптоволоконного кабеля в затрубное пространство). Затронуты вопросы обновления гидродинамической модели на основе мониторинга состояния скважин с использованием оптоволоконных датчиков.

В работе семинара большое внимание было уделено проблеме изменения чувствительности оптического волокна с изменением температуры и давления и последующего учета этих влияний на результаты измерений.

В первый день работы представлены доклады по актуальности данных исследований в нефтегазовой и горнорудной отрасли практического применения оптоволоконных систем в различных областях нефтегазовой отрасли, в том числе при контроле консервации и мониторинга скважин, мониторинг состояния ЖД полотна и нефтепроводов, контроль при анализе потов в добывающих скважинах. Ряд докладов был посвящен теоретическим основам и ограничениям при использовании оптоволоконных технологий, намечены дальнейшие пути для исследований.

Во второй день работы представлены не только примеры реального практического применения оптоволоконных технологий в производственной и научной деятельности: но и представлен широкий ряд отечественных разработок оптоволоконных кабелей, датчиков и средств измерений. Ряд докладов были посвящены теоретическим основам преодоления имеющихся ограничений и намечены пути дальнейшего совершенствования технологий.

Прошедший семинар и широкая дискуссия по его окончанию еще раз подтвердила необходимость в распространении знаний и необходимости дальнейшего внедрения оптоволоконных технологий для оптимизации разработки месторождений и мониторинга состояния скважин и объектов наземной инфраструктуры. Были подняты фундаментальные вопросы и отмечена необходимость совместных поисков оптимальных решений для дальнейших разработок в области внедрения оптоволоконных технологий.

В связи с актуальностью и большим интересом к представленной теме семинара Организационным комитетом было принято решение сделать мероприятие ежегодным, а также организовать рабочую группу из специалистов научных, производственных, сервисных компаний заказчиков по проработке и развитию данного направления. Вся информация о плановых мероприятиях будет опубликована на официальном сайте www.gece.moscow.

Ждем всех на следующих семинарах Московского отделения Евро-Азиатского Геофизического Общества и ГЕОЕВРАЗИИ!

www.inovageo.com

Уважаемые заказчики!

Сообщаю Вам, что с 31 марта 2021 года компания INOVA Systems Corp. прекратила свое сотрудничество с ООО «Экспорт Групп» в России и xPort Group Inc. в США.

Начиная с 01 апреля 2021 года компания EOS Eurasia Oil Services F.Z.C в лице г-на Жана Жанюара, Генерального директора и Соучредителя компании, получила эксклюзивное право от INOVA представлять компанию напрямую или через ее стопроцентную дочернюю компанию ООО «Mitcham Seismic Eurasia», поставлять оборудование, комплектующие, запасные части и оказывать полный спектр услуг по аренде, ремонту и обслуживанию геофизического оборудования производства компании INOVA Systems Corp./INOVA Geophysical Inc.

Компания EOS Eurasia Oil Services F.Z.C была основана в 2012 году в ОАЭ и имеет дочернее предприятие в Уфе (РФ) и филиал в Москве. Основным направлением деятельности EOS Eurasia Oil Services F.Z.C является оказание услуг по управлению, а также аренда и поставка геофизического оборудования.

Установление этих новых партнерских отношений является гарантией того, что Вы сможете получить максимальный уровень клиентской поддержки, возможность получения оборудования на месте и расширенные возможности местного технического обслуживания.

Вы можете использовать заключенные ранее контракты для запроса информации, либо через компанию INOVA Geophysical Inc., либо через EOS Eurasia Oil Services F.Z.C.

Для контактов вы можете использовать следующие адреса электронной почты EOS Eurasia Oil Services F.Z.C:

Искренне Ваш,

Кэри Могдан,
Генеральный директор
INOVA Geophysical Inc.

Dear Customers,

I would like to inform you that effective March 31, 2021, INOVA Systems Corp. has terminated its partnership with xPort Group LLC in Russia and xPort Group Inc. in USA.

Commencing April 1st, 2021, EOS Eurasia Oil Services F.Z.C, represented by Mr. Jean Januard, the CEO and Co-Founder of the company, has been granted the exclusive right from INOVA to represent the company directly or through its wholly-owned subsidiary Mitcham Seismic Eurasia LLC, to supply the equipment, components, spare parts and provide a full range of services for the lease, repair and maintenance of geophysical equipment manufactured by INOVA Systems Corp./INOVA Geophysical Inc.

EOS Eurasia Oil Services F.Z.C was founded in 2012 in the UAE and has a subsidiary in Ufa (RF) and a branch in Moscow. The main focus of EOS Eurasia Oil Services F.Z.C is the provision of management services as well as lease and supply of geophysical equipment.

Establishing these new partnerships ensures that you receive the highest level of customer support, local equipment availability and enhanced local technical support.

Please, use previously concluded contacts to request information, either through INOVA Geophysical Inc., or through EOS Eurasia Oil Services F.Z.C.

Please, use the below email addresses to contact EOS Eurasia Oil Services F.Z.C.:

Best Regards,

Carey Mogdan,
CEO
INOVA Geophysical Inc.



EURASIA OIL SERVICES

MITCHAM INDUSTRIES, INC.

Your Gateway to Business in Eurasia

Стратегический и управленческий консалтинг на нефтесервисном рынке Ближнего Востока

Анализ состояния рынка и перспективных направлений в регионе под интересы клиентов;

Разработка стратегии вхождения на рынок;

Поиск и подбор решений по расширению и оптимизации бизнеса в странах Ближнего Востока;

Развитие Вашего бизнеса «под ключ».

Партнерство

Представление интересов клиента в странах региона;

Поиск местных партнёров и заказчиков, организация переговоров;

Привлечение инвестиций под перспективные проекты.

Поставки оборудования и разработка технологических решений

Аренда и продажа нового и бывшего в употреблении оборудования и комплектующих для геологоразведки на море и на суше;

Подготовка проектных решений под запрос.

Россия, г. Москва:
+7 (985) 222 48 44
Россия, г. Уфа:
+7 (347) 246 90 74

ОАЭ, г. Дубай,
+971(56) 170 2553
info@eurasia-oil-services.com

www.eurasia-oil-services.com

Сейсморазведка своих не сдает.

Разве что в аренду.



Аренда сейсморазведочного оборудования

SERCEL 428/508 – регистрирующая система для работ на суше и в транзитных зонах

Aram Aries II – телеметрический комплекс

RT 2 System – гибридная система регистрации с беспроводной передачей данных в режиме реального времени

ГЕОТОН – семейство невзрывных импульсных сейсмоисточников

SLIM WAVE – внутрискважинная телеметрия в реальном времени, для ВСП, межскважинных и микро-сейсмических работ.

G-SOURSE / BOLT – пневматический сейсмоисточник

Судно шутер «Скат» для сейсморазведки в транзинтых зонах

Катамараны проекта «Гео» для проведения геофизических и инженерно- геологических работ

Тел/факс: +7 (495) 694-1940 – круглосуточно
E/mail: info@geoton.ru **www.**geoseisholding.ru

ХОЛДИНГ **ГЕОСЕЙС**