

Первые результаты производственного опробования автономных регистраторов РОСА-А при работах ГСЗ

Сагайдачная О.М., Сальников А.С., Сагайдачный А.В., Шмыков А.Н., Щегольков А.В.
ФГУП Сибирский НИИ геологии, геофизики и минерального сырья ФГУП «СНИИГИМС», г.Новосибирск

Введение

Современный этап развития наземных сейсморазведочных телеметрических систем сбора данных характеризуется интенсивным развитием каналов связи, обеспечивающих в реальном времени регистрацию до 10 000 каналов [1-3]. Однако проводные телеметрические системы имеют достаточно серьёзные ограничения, к числу основных можно отнести значительное возрастание суммарной массы линий связи при увеличении разведываемой площади и, как следствие, резкое удорожание системы дистанционной передачи данных, усложнение информационно-измерительной системы и снижение её надёжности. Поэтому так актуальны новые разработки сейсморазведочных систем сбора и передачи данных, которые ориентируются на использование радиоканала и оптоволоконных линий связи [3, 4].

Развивая концепцию бескабельной системы сбора сейсмической информации с использованием выдающихся достижений в области высоких технологий (hi-tech), можно построить эффективный пространственно распределенный комплекс без цифровых линий связи: от нескольких каналов до широко азимутальных систем наблюдения 3D из нескольких тысяч каналов. Существующий уровень развития твердотельной памяти делает экономически выгодным использование памяти емкостью в несколько гигабайт. Твердотельная Flash-память объемом до 4 Гбайт, которая может быть использована в широком температурном диапазоне от - 40С до + 60С, обеспечивает непрерывную запись данных на одном пункте наблюдения в течение нескольких суток и позволяет полностью или частично отказаться от фиксированной по времени работы с искусственными источниками возбуждения (взрывными и вибрационными). Автономные регистраторы позволяют выполнять сейсмические наблюдения без предварительной разбивки пикетов с высокой надежностью, которая определяется, в том числе, и автономностью устройства.

Бескабельная система сбора сейсмических данных на основе автономных регистраторов РОСА-А

Ранее в данном журнале нами была опубликована статья, в которой приведены функциональные характеристики и технические параметры автономных сейсмических регистраторов РОСА-А, построенных с использованием элементной базы и схемотехнических решений высокоточного телеметрического 4-х канального регистратора РОСА [4, 5]. Измерительный канал регистратора РОСА-А реализован на комплекте микросхем фирмы Cristal Semiconductor, Co. (США) с использованием дельта-сигма модулятора 4-ого порядка CS5372. У построенного аналогово-цифрового канала измерения величина реального мгновенного действующего диапазона составляет 24 эффективных разряда АЦП (около 140 дБ мДД) на периоде квантования 16 мс, 23 разряда (136 дБ мДД) - на периоде 2 мс, 22 разряда (115 дБ мДД) - на периоде 1,0 мс.

Автономный сейсмический регистратор РОСА-А, общий вид которого приведен на рис. 1, включает: четырёхканальный 24-х разрядный



Рис.1. Автономный сейсмический регистратор РОСА-А

АЦП; устройство управления; блок внутреннего контроля; генератор тестовых сигналов; модуль энергонезависимой твердотельной Flash-памяти; GPS-приёмник; высокостабильный термостатированный тактовый генератор.

Конструктивно 4-х канальный автономный модуль в основной части реализован на одной печатной плате, на второй плате установлен тактовый генератор, индикация и подключен GPS - приёмник. Корпус регистратора изготовлен из прочного алюминиевого сплава.

Режим программирования работы АЦП включает задание частоты квантования, коэффициента усиления и, как возможный вариант, конфигурирование входов АЦП на работу с внутренним генератором тестовых сигналов для диагностики параметров канала регистрации без использования дополнительных приборов. Генератор тестовых сигналов регистратора построен на принципах дельта-сигма цифро-аналогового преобразователя и обеспечивает уровень нелинейных искажений сигналов меньше 0,0005%. Контролируются следующие параметры: уровень шума, максимальный неискаженный сигнал регистрации, коэффициент нелинейных



ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

Таблица 1. Техническая спецификация автономного регистратора РОСА-А

Параметр	Полевая сейсмостанция РОСА-А (автономный полевой модуль)
Количество каналов регистрации	4
Аналого-цифровой преобразователь	24-bit
Интервал дискретизации, мс	программируемый 0,125; 0,25; 0,5; 1,0; 2,0; 4,0; 8,0; 16,0
Регистрируемые частоты, Гц	0 - 3200
Мгновенный динамический диапазон	>120 дБ
Усиление	программируемое (1, 2, 4, 8, 16, 32, 64)
Коэффициент нелинейных искажений	менее 0,0005%
Взаимные влияния между каналами	менее -110 дБ
Действующее значение напряжения шума канала, приведенное ко входу при усилении, (RMS)	менее 0,16 мкВ (36 дБ)
Потребляемая мощность на канал в рабочем режиме	менее 1,7 Вт
Способ питания, аккумулятор	аккумулятор, 9 ÷ 48 В
Габариты регистратора	245x98x90 мм
Масса регистратора	1,6 кг
Диапазон рабочих температур	- 40 С ÷ + 60 С
Система привязки точного времени	✓ GPS-приёмник ✓ встроенная система автоподстройки ✓ встроенный прецизионный генератор
Погрешность синхронизации по GPS	<1 мкс
Нестабильность частоты опорного генератора	<10 ⁻⁸
Объем энергонезависимой памяти	до 4GB
Автономная запись	не менее 10 суток, реализован режим записи по расписанию
Контроль записи	индикация режимов работы регистратора в реальном времени, внутренняя самодиагностика с документированием результатов во встроенной Flash-памяти
Подключение к внешним устройствам	компьютер (ноутбук) с USB-портом
Исполнение	пылевлагозащищенное, IP65

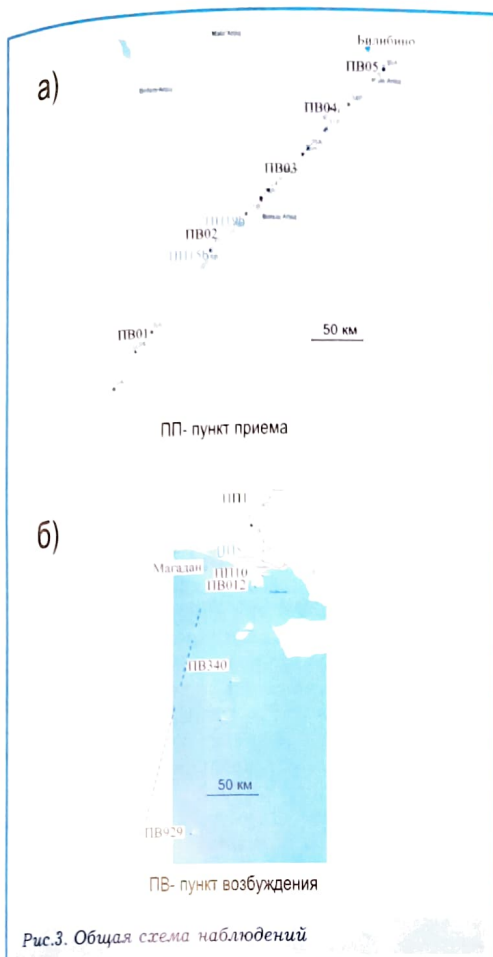
искажений, подавление синфазной помехи, коэффициент взаимного влияния, идентичность коэффициентов усиления, сопротивление и импульсная характеристика подключенного геофона, правильность настроек регистрации.

В автономном регистраторе реализовано два варианта синхронизации внутреннего времени: с использованием GPS-приемника и встроенного высокостабильного тактового генератора. Посредством GPS-приемника можно наиболее точно синхронизировать работу любого количества регистраторов вне зависимости от продолжительности автономной работы. Регистратор переходит в режим синхронизации с использованием внутреннего генератора только в случае нестabilityности приема радиосигналов GPS-приемника.

Для записи информации на промышленные Flash-карты ёмкостью от 256 Мб до 4 Гб используется стандартная файловая система FAT,

которая обеспечивает многоуровневое защищенное хранение и высокую скорость передачи больших объемов информации. Для конфигурирования автономного регистратора используется компьютер, например Notebook, с USB портом и предустановленной операционной системой, поддерживающей файловую систему FAT и накопители USB Mass Storage (MS Windows ME 2000, XP 2003 Server, Linux с ядром > 2.4, MacOS 9 MacOS X и так далее). При подключении к компьютеру регистратор представляется пользователю как том жёсткого диска (аналогично опознаванию USB FlashDrive), доступный для записи и чтения файлов.

По техническим характеристикам автономный регистратор РОСА-А (табл.1) сопоставим с лучшими зарубежными аналогами, к которым, прежде всего, относятся модели Reftek фирмы REFRACTION TECHNOLOGY, Inc. (США), бескабельный комплекс Unite, Vibtech®.



регистраторами РОСА-А, сейсмологической станции Байкал и телеметрической станцией СТС-24Р, доказавали возможность применения данных автономных регистраторов для выполнения высокоточных глубинных сейсмических наблюдений методом ГСЗ. Станции СТС-24Р и «Байкал» в производственном режиме применялись на опорном региональном профиле 2-ДВ и устанавливались, как правило, на самых больших удалениях до 250 – 300 км от вибрационного источника для получения на многоканальных расстановках опорных данных предомненных и отраженных волн от поверхности Мохоровичича [7].

Экспериментальная версия бескабельной системы регистрации, включающей 25 автономных сейсмических регистраторов РОСА-А (100 каналов), была подготовлена к началу летнего полевого сезона 2006 года. В данной комплектации система РОСА-А была апробирована при производстве сейсмических работ методом ГСЗ на Северо-Востоке России (общая схема наблюдений приведена на рис. 3); на опорном геофизическом профиле 2-ДВ (участок в Чукотском АО) и при выполнении наблюдений «суша - море» (г. Магадан).

Сейсмические работы ГСЗ на территории Чукотского АО из-за особо сложных условий выполнялись в летний период с вертолётной доставкой техники. Сейсмические наблюдения производились с использованием автономных полевых модулей и взрывных источников возбуждения (пять взрывов в мелких водоёмах). Применялись одновременно 4-х канальные регистраторы РОСА-А, 3-х канальные регистраторы Байкал и Дельта-Геон. В качестве датчиков использовались сейсмодатчики СВ-5, объединенные в точечную группу из 8 штук.

Регистраторы РОСА-А были запрограммированы на автономную работу продолжительностью 10 суток. Рабочий режим ежедневно включал запись информации длительностью 1,5 часа в интервале ожидания выполнения возбуждения упругих колебаний (взрывов). В ходе проведенных работ регистраторы записали колебания от всех пяти произведенных взрывов и в результате практически была показана достаточная надежность их работы в условиях высоких широт при повышенном фоне статического электричества.

Полученный от взрывного источника на удалениях до 300 км первичный материал характеризуется достаточно высоким отношением сигнал/помеха. Визуально качество полученных сейсмических данных можно оценить по приведенным на рис. 4 записям на открытом канале, здесь показаны:

-4-х канальная первичная запись одного регистратора РОСА-А от одного воздействия (рис. 4а);

-сейсмограмма ОПП – первичная запись колебаний одним регистратором всех пяти взрывов (рис. 4б);

-сейсмограмма ОПВ – волновое поле упругих колебаний от одного воздействия, записанное пространственно распределенной по профилю системой из 4-х канальных автономных регистраторов (рис. 4в).

На данных фрагментах сейсмограмм ГСЗ четко прослеживаются предомненные волны в первых вступлениях, визуально выделяется и поле отраженных, в том числе поперечных, волн в последующих вступлениях. В целом, качество полевого материала можно оценить как хорошее и достаточное для выполнения специальной многоволновой обработки и интерпретации данных сейсмических наблюдений ГСЗ.

Из выше сказанного следует, что на основе высокоточных автономных регистраторов РОСА-А можно построить бескабельную систему сбора и регистрации широкополосных полноформатных сейсмических данных с большим количеством датчиков. Как особо важные отличительные характеристики предлагаемой бескабельной пространственно распределенной сейсмической системы отметим следующие:

-свободный режим работы с сейсмическими источниками упругих колебаний;

-практически неограниченное количество точек наблюдений без предварительной разбивки пикетов;

-регистрация сейсмических данных высоко-разрешающих съёмок;

-экономичность - отсутствие аналого-цифровых телеметрических линий связи;

-многоуровневое защищенное хранение информации;

-высокоточная внешняя синхронизация по сигналам спутниковой системы GPS;

-регистратор обладает функциями самодиагностики и самотестирования с документированием результатов в виде файлов внутри встроенной Flash-памяти.

Результаты апробации автономных регистраторов при выполнении геологоразведочных работ

Полевые испытания автономного регистратора РОСА-А, проведенные в конце 2005 г. на Геофизическом полигоне СО РАН (Новосибирская обл.) с использованием вибрационного источника ЦВП-40, показали, что технические характеристики испытываемых экспериментальных образцов соответствуют заявленным значениям [6]. Практическая идентичность первичных виброграмм и коррелограмм, полученных

ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

Кроме наземных работ методом ГСЗ в этот же период (июль 2006 г.) автономные регистраторы РОСА-А использовались на южно-магаданском участке профиля 2-ДВ при проведении наблюдений «суша - море» (см. рис. 36). Этот участок протяженностью в 100 км примыкает к северному окончанию морского опорного профиля 2-ДВ-М, на котором ФГУНПП «Севморгео» выполняет геолого-геофизические исследования по Государственному контракту №06/0820-25 (Генеральный Заказчик – Роснедра).

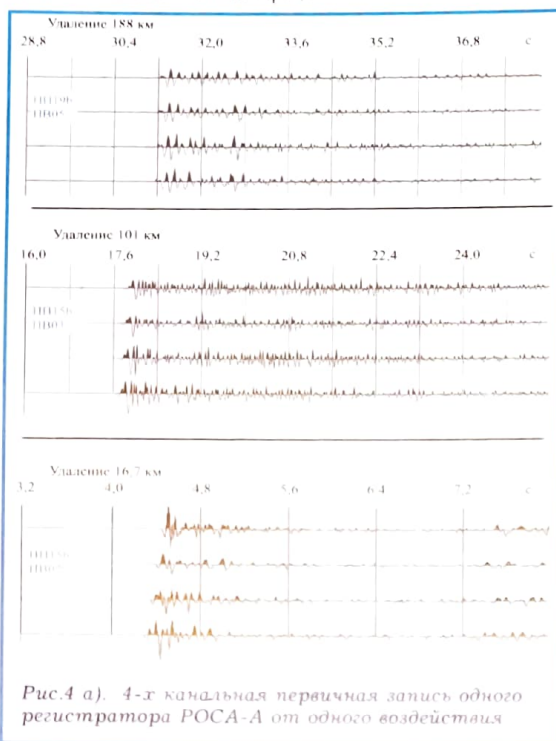


Рис. 4 а). 4-х канальная первичная запись одного регистратора РОСА-А от одного воздействия

Возбуждение упругих колебаний на акватории Охотского моря осуществлялось с использованием морских пневмозлучателей СИН-6М (глубина буксировки 30-37 м, удаление от судна 60 м). Пневмозлучатели работали со сменными рабочими камерами, объемы которых равны 80 л и 120 л, при использовании камеры с объемом в 120 л, она заполнялась водой до рабочего объема 80 л. Рабочее давление в камерах составляло 120-125 атмосфер, период возбуждения выдерживался около 2 мин, что в плане составляло примерно 250 м. В течение двух суток было выполнено около 1000 импульсных ударов.

При наземной регистрации было использовано 10 автономных регистраторов РОСА-А, из

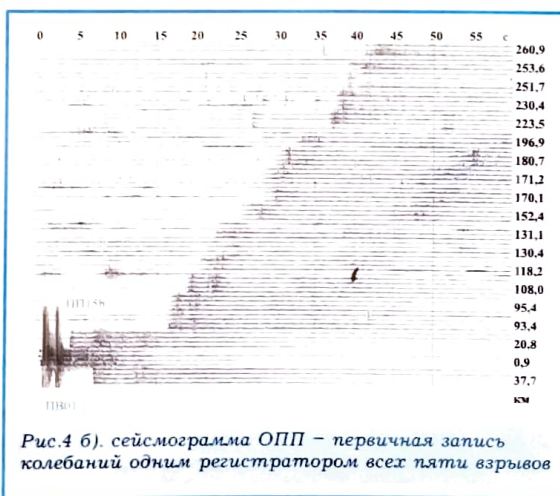


Рис. 4 б). сейсмограмма ОПП – первичная запись колебаний одним регистратором всех пяти взрывов

которых по объективным причинам (недоступность, непроходимость из-за сложных поверхностных условий) большая часть была выставлена недалеко от автодороги. Перед установкой на профиль регистраторы были запрограммированы на режим непрерывной записи длительностью около 50 часов с частотой дискретизации 8 мс. Все регистраторы проработали в заданном режиме без сбоев и в результате были зарегистрированы на удалениях до 250 км от источника непрерывного типа возбуждения сейсмические данные достаточно хорошего качества.

На этапе препроцессинга были сформированы из длительных записей регистраторов, содержащих волновые поля от множества последовательных импульсных воздействий, общее число которых составляло около 1000, сейсмические трассы длительностью 60 с в формате SEG Y (см. рис. 5).

В качестве иллюстрации первичного волнового поля могут служить показанные на рис. 5а сейсмограммы ОПВ (ПВ339, ПВ340), зарегистрированные наземной бескабельной системой наблюдения РОСА-А при двух последовательных воздействиях морских пневмозлучателей. Суммарный (общий) уровень шума относительно сигнальной составляющей волнового поля в разное время суток (день или ночь) можно оценить по первичной записи на открытом канале для регистратора, установленного вблизи дороги (ПП18), приведенной на рис. 5б. Для этого же регистратора на открытом канале в более крупном масштабе показаны (рис. 5в) фрагменты обращенного годографа на удалениях до 130 км, на котором четко и уверенно, с высоким отношением сигнал/помеха прослеживаются волны в первыхступлениях. Следовательно, полученные первичные записи являются достаточными по отношению к помехе в целевом диапазоне регистрации, который обеспечивает в последующем достоверную обработку сейсмограмм ГСЗ «суша - море».

Основные выводы

Первый опыт производственного применения автономных сейсмических регистраторов РОСА-А для решения задач глубинного сейсмического зондирования можно оценить как успешный. Более того, экономически можно считать достаточно перспективным вариант построения бескабельной пространственно распределенной сейсморазведочной системы на основе автономных высокоточных регистраторов РОСА-А для проведения работ методом ГСЗ как в наземном варианте, так и в варианте «суша - море».

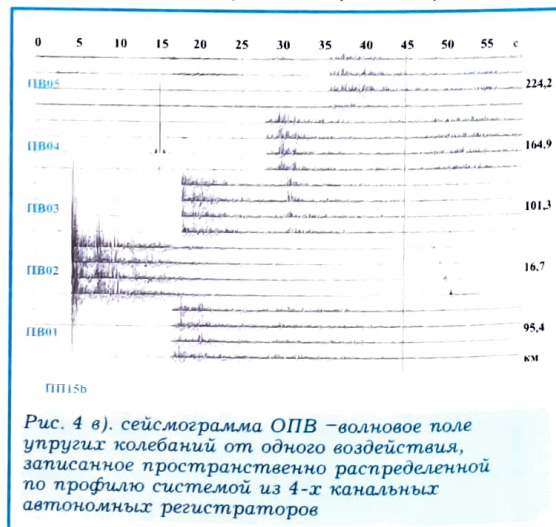
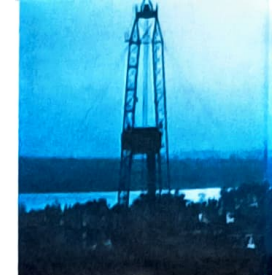


Рис. 4 в). сейсмограмма ОПВ – волновое поле упругих колебаний от одного воздействия, записанное пространственно распределенной по профилю системой из 4-х канальных автономных регистраторов



ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

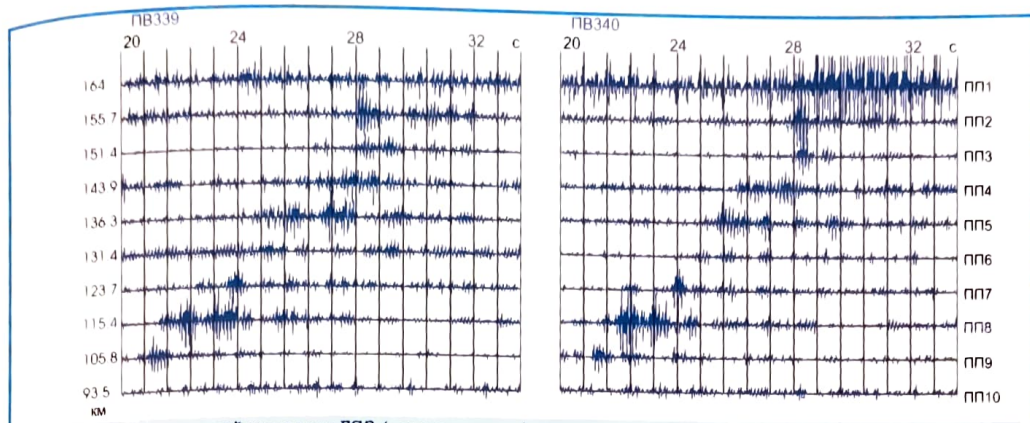


Рис. 5 а) Фрагменты сейсмограмм ГСЗ («суша - море»), полученные с использованием морских пневмоизлучателей СИН-6М, на открытом канале РОСА-А: первичные записи ОПВ;

Важно отметить, что технология работы предлагаемой бескабельной системой сбора сейсмических данных является весьма гибкой,

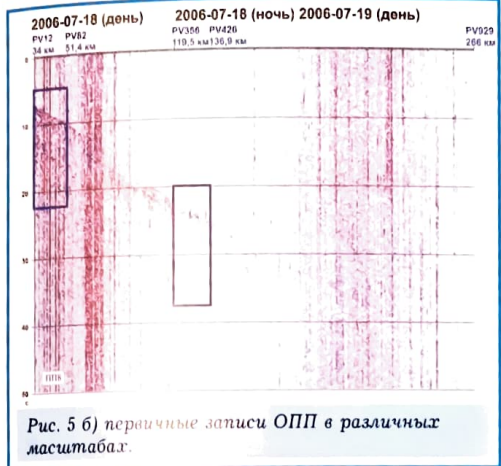


Рис. 5 б) первичные записи ОПВ в различных масштабах.

правности одного регистратора.

В случае, если сейсмическая информация нужна в реальном времени, то можно выполнить сбор и регистрацию данных с экономичным использованием телеметрической системы реального времени, имеющей аналогичный по техническим характеристикам измерительный канал, например многоканальную сейсмостанцию РОСА.

Бескабельная регистрирующая система является надежной системой, обеспечивающей полноформатную регистрацию данных в особо сложных условиях эксплуатации в диапазоне рабочих температур от минус 40°С до плюс 60°С.

Бескабельная система сбора сейсмических данных РОСА-А предназначена для выполнения длительных высокоточных сейсмических измерений при проведении глубинных исследований и мониторинга, но её можно использовать и для регистрации данных высокоразрешающих съёмки.

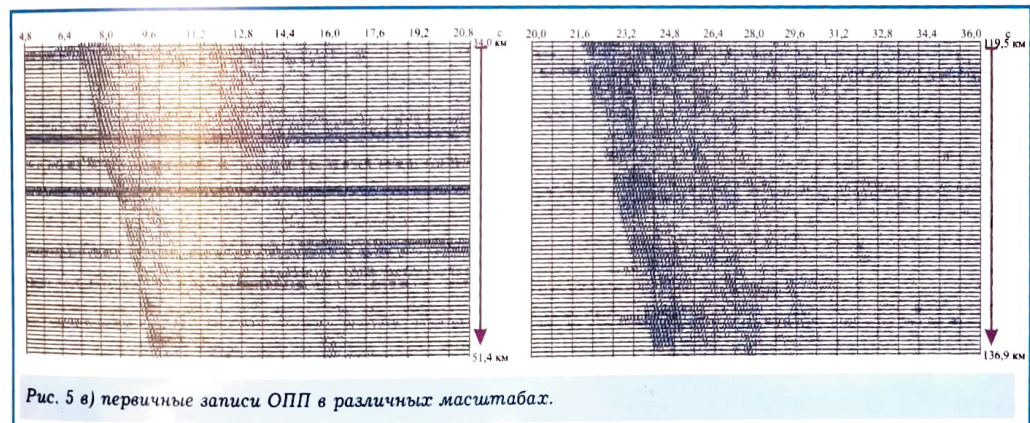


Рис. 5 в) первичные записи ОПВ в различных масштабах.

обеспечивает достоверную регистрацию информации по свободному расписанию с различными источниками возбуждения (взрывными или невзрывными) упругих колебаний, в том числе и с вибрационными.

Система наблюдений может состоять из сверхбольшого количества пунктов приёма, распределённых с переменной плотностью по площади исследований, которая определяется целевыми задачами, сейсмогеологическими условиями и методикой выполнения геолого-геофизических работ. Особо подчеркнем, что при выполнении сейсмических измерений исключается неработоспособность сети сбора из-за неис-

Литература

1. Федотов С.А. Телеметрические системы – этапы развития/ Приборы и системы разведочной геофизики, 2005, 3.
2. Muse R. Acquiring Seismic With Input/Output System Four/ Oil & Gas Eurasia, 2006, 5.
3. Peebler B., Friedemann C. From PC to iPod, How Step-Change Drives Land Seismic/ Oil & Gas Eurasia, 2006, 3.
4. Flavell Smith J. How a new cable-less land seismic survey acquisition system was born/ FIRST BREAK, February 2006, v.24.
5. Сагайдачная О.М., Сагайдачный А.В., Шмыков А.Н. Вопросы и ответы по телеметрической сейсмостанции РОСА/ Приборы и системы разведочной геофизики, 2005, 3.
6. Сагайдачная О.М., Сагайдачный А.В., Сальников А.С., Шмыков А.Н., Щегольков А.В. Автономные регистраторы РОСА-А для высокоточных сейсмических наблюдений/ Приборы и системы разведочной геофизики, 2006, 2.
7. Еманов А.Ф., Кузнецов В.Л., Сагайдачная О.М., Сальников А.С., Соловьев В.М. Технология региональных исследований методом ГСЗ с вибрационным источником/ Приборы и системы разведочной геофизики, 2004, 3.