



Рис. 1. Конструктивное исполнение БСД-1.

Отдельные секции БСД-1 могут соединяться между собой посредством герметичного разъема, допускающего погружение секций в воду на глубину до 15 м. Наличие специального кабеля и переходного полевого блока позволяют включать секции БСД-1 в любое место расстановки блоков БСД-6, обеспечивая уникальную возможность одновременного использования в расстановке одноканальных и 6-ти канальных блоков сбора данных с единым телеметрическим каналом передачи данных, управляемым Центральным Регистрирующим Комплексом (ЦРК) системы «Прогресс-Т2».

На рис.2 представлен переходной полевой блок с подключенной к нему секцией БСД-1.

Как уже упоминалось выше, число одноканальных блоков в секции может быть от 1 до 48 и определяется при заказе на поставку секций. На наш взгляд, оптимальной является секция из 6 БСД-1 с расстоянием между блоками 55 м или 27,5 м.

При необходимости вся расстановка может быть сформирована с использованием только секций БСД-1.

Таким образом, с использованием секции БСД-1, телеметрическая сейсморегистрирующая система «Прогресс-Т2» теперь способна обеспечить беспрецедентную гибкость при проведении работ в сложных условиях переходных зон, при пересечении водных преград и участков с высоким уровнем промышленных помех, существенно повышая производительность работ, качество регистрируемой информации и сохраняя при этом экономические выгоды использования многоканальных телеметрических модулей.



Рис. 2. Комплексная наземная расстановка БСД-6, БСД-1.

Вопросы и ответы по телеметрической сейсмостанции РОСА

Сагайдачная О.М., Сагайдачный А.В., Шмыков А.Н., ФГУП «СНИИГГМС», г. Новосибирск

На страницах этого журнала ранее уже были наши публикации по результатам технических разработок многоканальных телеметрических систем регистрации сейсмических данных. В статьях [1-3] приведены функциональные и технические характеристики наземных сейсмостанций СТС-24Р и РОСА (разработка ФГУП «СНИИГГМС»), обеспечивающих проведение региональных и поисково-разведочных работ размерности 2D, 3D, 4D с различными источниками возбуждения (взрывными, импульсными и вибрационными), и телеметрических систем ССТ-480 и ССТ-4 (совместная разработка ФГУП «СНИИГГМС» и ГНЦ ФГУП «Южморгеология») для работ в условиях транзитных зон с цифровой погружной косой. Там же были рассмотрены вопросы реализации многоканальной телеметрической системы регистрации данных в реальном времени и интерактивной технологии многомерных сейсмических исследований.

В настоящей работе покажем современное состояние отечественной разработки многоканальной телеметрической сейсморегистрирующей системы РОСА и сопоставим ее с широко известной импортной системой последнего поколения ведущего производителя геофизического оборудования - Sercel 408UL.

Телеметрическая сейсморегистрирующая система РОСА - это аппаратно-программный комплекс, объединяющий регистрирующие модули различной конструкции (для суши, транзитных зон, открытой воды), сетевые образующие элементы для организации иерархической структуры, систему распределенного питания, кабельное хозяйство и программное обеспечение, позволяющее реализовывать системы наблюдений различной конфигурации [4].

Распределенная многоканальная телеметрическая система регистрации функционирует в двух режимах: настройки и регистрации сейсмических данных. В режиме настройки период обмена пакетами равен максимальному значению - 16 мс. В режиме сеанса регистрации период обмена определяется выбранным параметром настройки станции, и может составлять от 16 мс до 0,125 мс. Для настройки расстановки достаточно передать 4 пакета данных (64 бита), которые позволяют определить параметры канала регистрации. Настройка сейсмической линии связи происходит за 64 мс.

Важнейшей задачей командного канала является передача временной синхронизации. Для передачи сигнала синхронизации используется псевдослучайная M-последовательность.

которая без потери точности допускает искажения нескольких бит в посылке. Канал приема и регенерации имеет минимальную задержку на обработку сигналов линии связи, а именно 12 битового интервала, что практически исключает дрожание фазы вступления фронта сигнала опроса данных. Временную нестабильность (ΔT) опроса самого дальнего элемента расстановки можно оценить как $\Delta T = \pm T \cdot \sqrt{n}$, где n - количество каналов, T - время передачи одного бита в информационном канале связи.

Например, в конце линейной расстановки из 400 рабочих каналов временная неопределенность опроса данных будет составлять $\pm 2,5$ мкс при постоянной задержке около 275 мкс между моментом опроса первого и последнего регистратора, которая учитывается при обработке полученных данных.

Канал прохождения сейсмических данных включается в регистраторе при получении команды синхронизации, которая и запускает процедуру передачи данных.

В телеметрической системе РОСА реализован режим «Plug&Play». Такая возможность обеспечивается режимом настройки, в котором сбор состояний и сейсмических данных выполняется по всем активным линиям системы наблюдения.

Дистанционный оперативный контроль метрологических параметров сейсмостанции выполняется с использованием встроенных средств регистратора: генератора гармонических синфазных и парафазных сигналов, генератора белого шума нормированной мощности, эквивалента нагрузки. Внутренние датчики измерения температуры, влажности, напряжений и тока, независимо от рабочего режима периодически передают информацию на центральную станцию. Локализация неисправностей регистрирующей расстановки выполняется при тестировании технических параметров каналов передачи данных. Сбор статистики нарушений в линиях связи выполняется с использованием анализа CRC-кода в каждом слове посылки. Собранный статистика позволяет определить место нестабильной работы устройств с точностью до фрагмента линии связи с указанием на два граничных модуля, концентратора или регистратора, и при росте гистограммы нарушений линии связи выполнить соответствующую замену.

Портативные сейсмические регистраторы (рис. 1) построены 4-х канальными с возможностью подключения многокомпонентного датчика, выполнены на микросхемах с защитой



Рис. 1. Общий вид наземного модуля телеметрической сейсмостанции РОСА.

от высоких напряжений, укомплектованы элементами, обеспечивающими дистанционный мониторинг параметров питания, температуры и влажности. Основные технические характеристики регистратора станции РОСА:

- количество каналов - 4;
- интервал дискретизации 0,125 мс, 0,25 мс, 0,5 мс, 1 мс, 2 мс, 4 мс, 8 мс, 16 мс;
- аналого-цифровой преобразователь 24 разряда;
- мгновенный динамический диапазон более 120 дБ;
- коэффициент нелинейных искажений менее 0,0005 %;
- взаимные влияния между каналами менее 110 дБ;
- потребляемая мощность в рабочем режиме на канал менее 0,25 Вт;
- способ питания - 1 аккумулятор на 60 каналов;
- масса регистраторов менее 1 кг;
- диапазон рабочих температур от минус 40°C до плюс 60°C;
- длительность регистрации в реальном времени до и более 200000 отсчетов.

Максимальное расстояние между четырехканальными регистраторами составляет 220 м, т.е. станция РОСА настроена на использование расстановок с максимальным шагом до 50 м. В системе Sercel 408UL максимальное расстояние между одноканальными полевыми модулями составляет 110 м. Количество каналов регистратора равно четырем. Такой вариант канальности более универсален по сравнению с шестью или одноканальными вариантами, а при выполнении многокомпонентной регистрации оптимизируются и затраты на сейсмические линии связи.

Применение четырехканального регистратора позволяет выполнить полевые работы на суше:

- на продольных волнах по стандартной технологии МОГТ-2D/3D;
- на продольных и обменных волнах по экономному варианту технологии многоволновой сейсморазведки с применением двухкомпонентной записи 2D2C, 3D2C;
- на продольных, обменных и поперечных волнах по технологии многоволновой сейсморазведки в полном объеме с применением трехкомпонентной записи 2D3C, 3D3C, (трехкомпонентный: одноканальный + два азимутальных сейсμοприемника);
- на продольных, обменных и поперечных волнах по технологии детальной многоволновой сейсморазведки с применением четырехкомпонентной записи 2D4C, 3D4C, (четырекомпонентный: азимутальный трехкомпонентный + дополнительный вертикальный сейсμοприемник, позволяющий контролировать работу азимутальных приборов по вертикальному, обеспечивая высокую точность поляризационного анализа сейсмических данных);
- сейсмический мониторинг 4D + 4D4C;
- проведение работ в транзитных зонах с использованием комбинации из геофонов и гидрофонов.

Для наземной сейсморазведки корпуса полевых модулей РОСА выполнены из алюминия (130×96×71 мм), в которые помещена печатная плата регистратора размером не более 76×86 мм.



ТЕЛЕМЕТРИЯ СЕГОДНЯ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

Регистраторы весят не более 1 кг, портативны, удобны в переноске и обслуживании.

Модуль аккумуляторного питания обслуживает группу модулей до 15 штук. Питание модуля кабельное, имеет диапазон 8 + 40 В.

Для погружных сейсмических кос регистраторы выполнены в цилиндрических водонепроницаемых корпусах из нержавеющей стали, имеют герметичные разъемы, которые после сборки косы фиксируются накидными гайками для обеспечения повышенной механической прочности. В собранном состоянии коса может раскладываться по дну с маломерных судов. Цифровые телеметрические модули выполнены на двух печатных платах, размеры которых не превышают 38x98 мм, расстояние между платами 6 мм. Кабельное питание погружных модулей обеспечивается в диапазоне 40 + 120 В на расстояние до 6 км. Диапазон питающего напряжения определяется входным преобразователем DC-DC, установленным в регистраторе.

Цифровая телеметрическая коса для переходных зон может быть использована для работ на суше.

На основе погружных телеметрических модулей можно собрать и буксируемую косу. Для обеспечения многокомпонентности геофон должен быть самоориентирующимся или снабжен датчиками крена и дифферента. Технические решения для применения датчиков крена и дифферента в регистрирующий модуль заложены.

К вопросу о количестве сейсмических каналов в станции РОСА.

Общее количество работающих каналов в реальном времени зависит от ряда факторов. Во-первых, существует достигнутая характеристика пропускной способности сейсмического канала связи линейного фрагмента системы, которая составляет 8 Мбит/с. Надежная передача цифрового потока данных с таким трафиком обеспечивается при использовании высококачественных линий связи, входящих в состав сейсмических кос, применением алгоритмов помехоустойчивого кодирования информации с корректировкой поврежденных данных (например, кодом Рида-Соломона), а также кодирования данных для оптимального использования полосы пропускания линии связи. Во-вторых, имеется возможность распараллеливания потока информации по нескольким линиям связи, входящим в состав одной магистральной косы. Магистральный кабель обеспечивает в семь раз большую пропускную способность цифровых данных, чем линейный кабель. Одна магистраль может обслуживать в семь раз больше каналов, подключенных к нескольким узлам. Кроме того, к станции может быть подключено две магистрали, а к узлу (hab) - два линейных фрагмента. Максимальное количество активных каналов на одной линии связи пропорционально выбранному периоду квантования и составляет, например, для регистрации в реальном времени для шага квантования 2 мс - 608 каналов, для 1 мс - 304 канала, для 4 мс - 1220 каналов. Суммарное количество сейсмических линий максимальной длины может достигать 14, что позволяет собрать расстановку, включающую несколько тысяч каналов.

К вопросу о длине сейсмической линии.

Принятая система кодирования использует для приема информации только знаковую функцию сигнала, не зависящую от его уровня. Благодаря этому, длина кабеля в сторону уменьшения не влияет на работу системы. Увеличение длины кабеля между модулями и замена кабеля на другой могут привести к появлению искажений, которые устраняются введением цепей коррекции частотной характеристики. Корректирующие RC-цепи могут быть расположены в корпусе разъемов косы и установлены туда при ее изготовлении.

Предупреждая вопрос о комбинированном использовании регистраторов различного конструктивного исполнения, т.е. регистраторов, предназначенных для транзитных зон, и регистраторов для суши, отмечаем, что они совместимы по сигналам линии связи. Основные отличия заключаются в реализации аналогового канала регистрации и устройства управления модуля, а также в системе энергоснабжения. Для регистраторов, предназначенных для эксплуатации в водной среде, т.е. при проведении сейсмических исследований в транзитных зонах и открытой воде, использование аккумуляторных батарей неприемлемо. В этих системах применяется лишь распределенное кабельное питание. Максимальная длина такой расстановки зависит от выбранного кабеля и, прежде всего, определяется сечением токопроводящих жил.

Рассмотрим вопрос о кабельном питании несколько подробнее. Нетрудно показать преимущества кабельного питания: при отсутствии аккумуляторов на профиле снимается задача по их обслуживанию, контролю, перевозке и т.д. В то же время организация кабельного питания нетривиальная задача. Как известно протяженность кабельного питания ограничивается несколькими факторами, основные из них: мощность потребления полевого модуля, максимальная величина и диапазон входного напряжения, сопротивление токопроводящих жил. Влияние перечисленных параметров на длину расстановки непропорциональное, поскольку потребление модуля обратно пропорционально входному напряжению источника питания: чем дальше расположен модуль от источника питания, тем больший ток он потребляет и выше падение напряжения на кабеле. Когда модуль не один, то распределение напряжения по кабелю становится нелинейным. Характер нелинейности изменяется от напряжения на последнем модуле. Зависимость распределения напряжения питания по кабелю

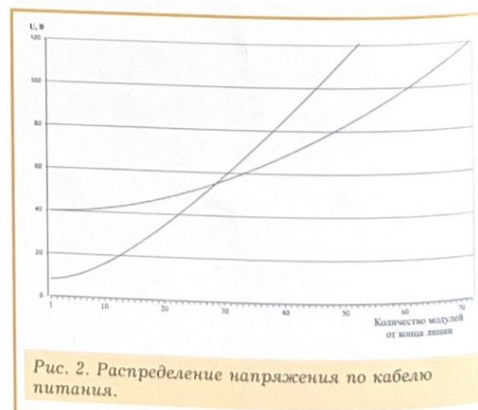


Рис. 2. Распределение напряжения по кабелю питания.

от входного напряжения на дальнем модуле проиллюстрирована графически на рис. 2. По приведенному графику видно, что с повышением напряжения на последнем модуле возрастает количество модулей, которые можно запитать по кабелю. Например, увеличение начального напряжения с 8 В до 40 В позволяет увеличить число рабочих модулей с 50 до 70. Это происходит автоматически при применении DC-DC преобразователей, которые не включаются, если напряжение не превышает 40 В.

В последнее время стали доступны источники питания с входным диапазоном 40 В + 160 В, КПД которых составляет около 80%. Такое высокое напряжение следует применять только для необслуживаемых систем, где решена проблема электробезопасности. Для наземных систем оптимальным следует считать комбинированный способ питания, когда один аккумулятор через повышающий преобразователь запитывает часть сейсмической косы протяженностью до 2 км, включающей до 15 модулей. В станции РОСА реализованы оба эти решения.

К вопросу об использовании цифровых датчиков.

Регистратор станции РОСА можно модернизировать для использования цифровых акселерометров SI-Flex, выполненных по технологии MEMS.

Выходным сигналом микросхемы акселерометра является битовый поток дельта-сигма преобразователя пятого порядка, включенного в цепь механической обратной связи. Для получения завершеного датчика необходимо отфильтровать битовый поток микросхемы.

Таким образом, датчик должен подключаться к устройству, которое формирует питание для него, производит цифровую фильтрацию последовательности дельта-сигма модулятора, собирает и передает отчеты АЦП, формирует тестовые сигналы и сигналы управления. Этим условиям соответствует плата управления регистратора станции РОСА, которая реализует 4 цифровых фильтра во всем диапазоне периодов квантования станции от 125 мкс и до 16 мс. Параметры КИХ-фильтра таковы, что, например, на периоде квантования 1 мс линейный участок полосы составляет от 0 до 400 Гц. По этому параметру разработанный цифровой фильтр не уступает, а даже превосходит фильтры на чипе CS5376. Основное питание платы управления регистратора РОСА соответствует рабочему напряжению MEMS-акселерометра. Необходимая доработка платы управления заключается в ее переработке для добавления дополнительных цифровых выходов согласования с акселерометрами.

Вопрос: какая аппаратная и программная платформа выбрана для построения центральной электроники станции?

В качестве центральной станции используется РС-совместимый компьютер, как в стационарном, так и в портативном (notebook) исполнении.

Программное обеспечение сейсмостанции РОСА Operator Console (рис. 3) представляет собой комплект системных и прикладных программ, в который входят:

- прикладные программы оператора, обеспечивающие управление полевым оборудованием станции, регистрацию, предварительную обработку, визуализацию и запись сейсмограмм

в файл;

- прикладные программы для ремонта, настройки и метрологического контроля полевого оборудования станции;
- драйверы интерфейсных плат магистральных линий;
- утилиты для изменения настроек интер-

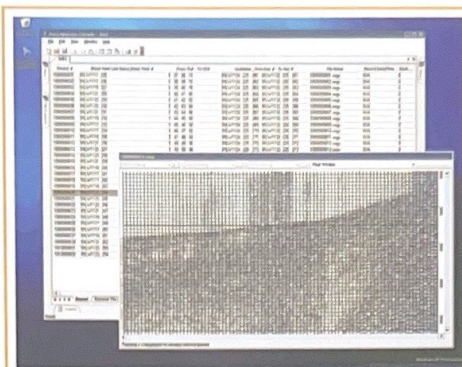


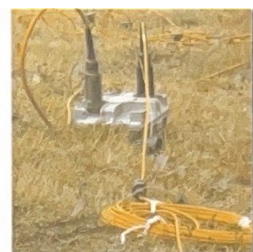
Рис. 3. Рабочее окно программы РОСА Operator Console в режиме отработки профиля.

фейсных плат и обновления программного обеспечения, прошитого в конфигураторе интерфейсной платы.

Разработанная телеметрическая станция РОСА является надежной системой с технологичным интерфейсом, обеспечивающим снижение эксплуатационных затрат на этапе полевых работ. В тоже время эта система является гибкой, адаптивной, способной к масштабированию и изменению конфигурации и, следовательно, к реализации различных методов и технологий сейсмических исследований в жестких климатических и неблагоприятных географических условиях. Высокие показатели технических характеристик сейсмического канала регистрации, многоуровневая, иерархическая структура построения системы управления и сбора данных, портативность и малое энергопотребление элементов полевого оборудования, интерактивность технологического интерфейса делают станцию РОСА конкурентоспособной при выполнении сейсмо-разведочных работ.

Литература

1. Бородин В.М., Ксенофонтов Ю.А., Сагайдачная О.М., Сагайдачный А.В., Шмыков А.Н. Опыт создания сейсмических телеметрических систем для работ в условиях мелководья и транзитных зон (на примере ССТ-480 и ССТ-4) // Приборы и системы разведочной геофизики, № 2, 2003.
2. Сагайдачная О.М., Сагайдачный А.В., Шмыков А.Н. Опыт построения российских многоканальных телеметрических станций для сейсмических исследований (СТС-24 СТС-24Р РОСА) // Приборы и системы разведочной геофизики, № 2, 2003.
3. Сагайдачная О.М., Сагайдачный А.В., Шмыков А.Н. Распределенная телеметрическая система регистрации сейсмических данных в реальном времени. / Приборы и системы разведочной геофизики, № 4, 2004.
4. Сагайдачная О.М., Сагайдачный А.В., Шмыков А.Н., Щегольков А.Н. Многоканальная телеметрическая система сбора сейсмических данных. / Патент №2244945 (RU) на изобретение по заявке № 2003124253, приоритет от 01.08.2003 г. зарегистрирован в Государственном реестре изобретений РФ 20 января 2005 г.



ТЕЛЕМЕТРИЯ СЕГОДНЯ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ