

Распределенные системы сбора сейсмических данных на основе высокоточного канала регистрации РОСА

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

Введение

Применение телеметрических систем регистрации и сбора сейсмических данных в реальном времени позволяет (при прочих равных условиях) провести исследования различной размерностью (2D, 3D, 4D) с высокой производительностью. Однако проводные системы регистрации имеют определенные ограничения, к числу основных можно отнести значительное возрастание с увеличением разведываемой площади суммарной массы линий связи и, как следствие, усложнение информационно-измерительной системы и резкое увеличение стоимости дистанционной передачи данных.

Современные требования обеспечения надежных, гибких и экологически безопасных сейсмических съёмок обуславливают развитие наземных высокотехнологичных систем сбора, передачи и обработки высокоточных (полноформатных) данных с особо большим количеством датчиков [1, 8, 10, 12, 13].

В ФГУП «СНИИГГиМС» исследования по разработке многоканальных сейсмических телеметрических систем выполнялись с 1996 г. [3]. В настоящее время созданы на элементной базе нового поколения с использованием программируемых логических матриц сверхвысокой степени интеграции и оригинальных решений (патенты RU 2189615, 2207719, 2244945, 41376) сейсмические регистраторы: телеметрический РОСА и автономный РОСА-А (рис. 1).

Технические характеристики регистраторов семейства РОСА (Таблица 1) соответствуют лучшим зарубежным аналогам I/O (ScorpionTM), Sercel (408UL, 428 XL); Refraction Technology, Inc. (Reftek), Vibtech (Unite), и позволяют организовать на их основе эффективные пространственно распределенные системы наблюдений с различными (взрывными, импульсными и вибрационными) источниками возбуждения упругих колебаний. Портативные 4-х каналные регистраторы РОСА, выполнены на микросхемах с защитой от высоких напряжений в корпусе из прочного алюминиевого сплава, который допускает погружение в воду.

Принципы построения высокоточного канала регистрации

Обеспечение современных сейсмических исследований возможно только при использовании высокоточного и широкополосного канала регистрации данных, мгновенный динамический диапазон которого превышает 120 дБ. Применение элементной базы нового поколения и точных решений по построению всего измерительного канала от предварительного усиления первичных (аналоговых) данных до получения цифровых отчетов позволяет достичь требуемого результата.

Классический цифровой канал регистрации сейсмических данных включает в себя на входе антиалиасинговый фильтр и усилитель, далее аналого-цифровой преобразователь (АЦП), состоящий из дельта-сигма модулятора и цифрового фильтра-дециматора. В настоящее время альтернативы использованию дельта-сигма модулятора для регистрации сравнительно медленных процессов, к которым относятся сейсмические сигналы с полосой частот до 1000 Гц, не существует. В цифровых акселерометрах, применяемых вместо геофонов при многокомпо-

нентной регистрации сейсмической информации, также используется дельта-сигма преобразователь, но выполненный по технологии MEMS (модулятор пятого порядка, например, микросхема SI-Flex Digital производства Applied Memes).

При применении дельта-сигма преобразования, следует учитывать, что в цифровой последовательности аналого-цифрового преобразователя на выходе дециматора помимо входного сигнала появляются дополнительные помехи. Этот дополнительный шум состоит из нескольких составляющих, а именно: равномерный тепловой шум элементов, специфический шум дельта-сигма модулятора, шум наложения и собственные колебания. Влияние теплового шума элементов из анализа исключим, так как эта составляющая известна, и основной метод снижения её заключается в правильном выборе комплектующих.

Рассмотрим более подробно другие шумовые составляющие.

Для исследования характеристик дельта-сигма модулятора целесообразно использовать параметр передискретизации *OSR* (*oversampling*). Параметр *OSR* ($OSR = 2F_0\tau$, F_0 - средняя частота сигнала, τ - период квантования дельта-сигма модулятора АЦП) показывает во сколько частота квантования превосходит минимальную частоту дискретизации, определяемую по теореме Котельникова.

Используя параметр *OSR*, можно оценить интегральные шумы дельта-сигма модулятора АЦП в полосе частот полезного сигнала в зависимости от его порядка r по формуле [11]:

$$n_0(r) = e_{rms} \frac{\pi^r}{\sqrt{2r+1}} (OSR)^{(r+0.5)} \quad (1)$$

где n_0 - аппроксимированное значение шума в полосе частот сигнала (В); e_{rms} - величина кванта дельта-сигма модулятора (В).

Теоретический мгновенный динамический диапазон (МДД) дельта-сигма модулятора с одноканальным цифро-аналоговым преобразователем (ЦАП) можно рассчитать (без учета прочих шумов) по формуле [9]:

$$МДД = \frac{3}{2} \cdot \left(\frac{2r+1}{2r\pi} \right) \cdot (OSR)^{2r+1} \quad (2)$$

Из приведенных формул (1-2) следует, что наиболее предпочтительно использовать модулятор, имеющий более высокий порядок r . При низком (или заданном) порядке дельта-сигма модулятора для увеличения значения МДД до требуемого необходимо повышать его частоту квантования ($F_{кв} = 1/\tau$), и чем выше реализованная частота квантования $F_{кв}$, тем в более высокой частотной области смещается специфический шум дельта-сигма модулятора. Естественно, что повышение частоты квантования требует в последующем пропорционального увеличения количества вычислений, поскольку соответственно возрастает количество отсчетов на заданном времени усреднения цифрового фильтра. Реальное значение частот квантования дельта-сигма модуляторов для сейсмических сигналов составляет от 64 кГц до 1 МГц.

Шумы дельта-сигма модулятора проявляются, как правило, только при измерении собственных шумов канала регистрации при малом периоде дискретизации (0,25 мс и менее) и на верхней частоте среза фильтра. При проектировании сейсмического регистрирующего канала необходимо задавать частоту работы дельта-сигма модулятора, при которой обеспечивается снижение шума модулятора до уровня теплового в области спектра полезного сигнала, а мгновенный динамический диапазон будет определяться только последующей фильтрацией. При использовании комплекта микросхем: дельта-сигма модулятора четвертого порядка CS5372 и фильтра CS5376A (Cirrus Logic, Inc., USA), - задача снижения шумов дельта-сигма модулятора ниже уровня тепловых помех решена на периодах дискретизации до 0,25 мс.

К специфическим шумам относятся и собственные колебания модулятора, которые проявляются при измерении собственных шумов канала регистрации. Известно, что дельта-сигма модулятор может функционировать как преобразователь напряжение-частота. Таким образом, если на вход модулятора подать напряжение (условно) поль- вольт, то он начнет обрабатывать собственное напряжение смещения. У качественных модуляторов его величина может составлять от долей до единиц и десятков микровольт, и напряжение модулятора начинает колебаться около этой величины.

Ввиду малой величины собственного напряжения смещения, частота колебаний является низкой, и колебания попадают в область полезного сигнала, как гармоника с частотой в диапазоне от 0,5 до 100 Гц. Средняя частота существования (появления) несбалансированных бит, неуравновешенных последующим битом обратной полярности, пропорциональна входному напряжению. При «нуле» на входе модулятора формируется последовательность -1,1,-1,1,-1,1..., среднее значение которой равно 0. При подаче максимального по амплитуде входного сигнала U_{max} на выходе модулятора формируется цифровая последовательность 1,1,1,1,1..., то есть выходная частота не уравновешенных единиц составит F_{kv} . Для получения на выходе гармоники собственных колебаний F_g необходимо задать смещение $U_{см}$ равное $U_{см} = U_{max} * F_g / F_{kv}$. Эту гармонику можно наблюдать только при аппаратном измерении собственного шума тракта регистрации, когда вход измерителя нагружается на эквивалент источника. При спектральном анализе такая помеха отображается как гармоника, превышающая равномерный тепловой шум на 6–10 дБ. Следует подчеркнуть, что собственные колебания проявляются только в режиме измерений собственных шумов. Их наличие свидетельствует только о смещении нуля в тракте измерения. Для устранения этого явления, например, в модуляторах CS5321 и CS5372 имеется вывод «OFST». Подача управляющего нулевого сигнала, который добавляет на вход смещение в несколько милливольт, что смещает частоту колебаний в высокочастотную область за пределы рабочей полосы. Следовательно, для исключения этой помехи достаточно подачи на вход модулятора реального сигнала с действующим значением напряжения 10 – 20 мВ.

При использовании других модуляторов, например, дельта-сигма модулятора второго порядка ADS1201 (Texas Instruments Inc., USA), необходимо принудительно добавить напряжение смещения нуля, значение которого можно учесть при цифровой обработке. Другим методом борьбы с колебаниями можно считать добавление небольшого сигнала, например, гармонического, не попадающего в полосу пропускания цифрового фильтра. Реальный сейсмический сигнал, в

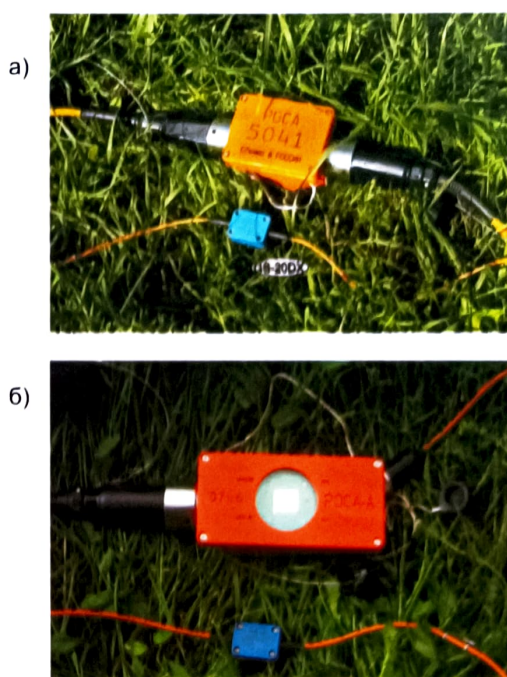


Рис.1. Сейсмические регистраторы: а) телеметрический РОСА; б) автономный РОСА-А

спектре которого присутствие собственных колебаний не обнаруживается, также успешно решает данную проблему.

Наиболее существенное влияние на реальный мгновенный диапазон может оказать, так называемый, эффект наложения спектров (обусловленный дискретизацией сигнала), в результате которого возможно фактическое снижение разрядности АЦП с ожидаемых 24 до 18 (16) разрядов. При анализе этой проблемы необходимо учитывать фильтрующие свойства последовательности операторов: «антиалиасинговый» фильтр и цифровой фильтр-дециматор. Передаточная характеристика общего (суммарного) фильтра представляет собой произведение передаточных характеристик всех последовательно включенных фильтров в тракте регистрации сейсмических данных. При этом отметим, что антиалиасинговый фильтр должен подавить на входе модулятора все спектральные составляющие сигнала вплоть до половинной частоты квантования ($F_{kv}/2$). В противном случае высокочастотные гармоники ($>F_{kv}$) отобразятся в области полезного сигнала, что равносильно увеличению шума и, соответственно, снижению динамического диапазон регистрации.

В качестве антиалиасингового фильтра выступают не только простые RC-фильтры, устанавливаемые на входе АЦП, но также среда и геофоны. Назначением дополнительного цифрового фильтра является подавление гармоник входного сигнала до значений, частота которых превышает $F_{kv}/2$. После процедуры децимации (проживания данных) устранение помех от наложения необратимо. С учетом цифровой фильтрации в последующем, первая гармоника, которая может быть отображена в рабочей полосе регистрации, если она будет находиться в пределах от 512 кГц - $F_{kv}/2$ до 512 кГц.

Измерительный сейсмический канал РОСА

Аналого-цифровой преобразователь измерительного канала РОСА построен с использованием дельта-сигма модулятора 4-ого порядка CS5372 (Cirrus Logic, Inc.), который имеет частоту модуляции 512 кГц и наилучшее из всех коммерчески доступных модуляторов отношение сигнал/шум в полосе частот до 1000 Гц.



ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ ГЕОРЕГИСТРАТОРЫ ЗАВТРАШНЕГО ДНЯ

Таблица 1. Основные технические характеристики регистраторов РОСА и РОСА-А

параметры	РОСА	РОСА-А
тип регистратора	телеметрический	автономный
количество каналов регистрации	4	4
аналого-цифровой преобразователь	24 bit	
интервал дискретизации, мс	0,125; 0,25; 0,5; 1,0; 2,0; 4,0; 8,0; 16,0	
регистрируемые частоты	0-3200 Гц	
мгновенный динамический диапазон	135 дБ (16 мс) 130 дБ (4 мс) 125 дБ (1 мс)	
коэффициент усиления, дБ	0, 6, 12, 18, 24, 30, 36	
общий динамический диапазон	более 146 дБ	
коэффициент нелинейных искажений	менее 0,0005%	
взаимные влияния между каналами	менее минус 110 дБ	
действующее значение напряжения шума канала, приведенное ко входу при усилении (дБ)	менее 0,16 мкВ (36 дБ)	
потребляемая мощность в рабочем режиме	менее 0,25 Вт на канал	менее 1,7 Вт на регистратор
способ питания, аккумулятор	на 60 каналов	на модуль
габариты регистратора	200x98x75 мм	245x105x70 мм
масса регистратора	1,3 кг	1,6 кг
диапазон рабочих температур	от минус 40°C до плюс 60°C	
максимальная длительность регистрации, отсчетов на канал	32 768	250·10 ⁶
погрешность синхронизации GPS, мкс	<0,1	
объем энергонезависимой памяти, Гб	—	2
нестабильность частоты опорного генератора	—	<10 ⁻⁸
время автономной работы, суток	—	не менее 10
исполнение	IP67, пылевлагозащищенное, допустимо погружение в воду	

Для цифровой фильтрации и децимации производитель предлагает интегрированный фильтр CS5376A, который имеет сложную структуру, включающую последовательность из многих фильтров (рис. 3). Заметим, что децимация выполняется после каждой фильтрации. В результате, например, первый фильтр 5-го порядка позволяет снизить частоту следования одноканальных данных с 512 кГц до 64 кГц, но уже многобитных. Последующая фильтрация на 4-х фильтрах позволяет получить 24-х битные данные, следующие с частотой 4000 Гц, и дальнейшая многократная фильтрация дает на выходе отчеты с частотами квантования с нижней границей до 1 Гц. Поскольку, для фильтрации в микросхеме CS5376A используются не только КИХ-фильтры, но и рекурсивные, то для установки начальных условий приходится использовать сигнал синхронизации (MSYNC), обеспечивающий приведение фильтра в начальное исходное состояние.

При реализации сейсмического канала регистрации РОСА был разработан оригинальный КИХ-фильтр, позволяющий посредством одного линейного оператора получить полную высококачественную передаточную характеристику АЦП. Построенный КИХ-фильтр для АЦП сейсмического канала РОСА представляет собой «sinc»-фильтр с импульсной характеристикой типа функция $\sin(x)/x$, перемноженной на взвешиваю-

щее окно для ограничения количества элементов и подавления эффекта Гиббса на частотной характеристике (рис. 2).

Фильтр работает следующим образом: дельта-сигма модулятора $X(t_i)$ записывается с частотой $F_{\text{кв}} = 512$ кГц в ОЗУ. Данных достаточно для хранения 128 отсчетов. Данные записываются в первой половине второй его половине хранятся коэффициенты фильтра. По команде на выдачу отчета АЦП в момент t_i запускается микропрограммный автомат. Последовательно считывая дельта-сигма модулятора из ОЗУ, можно восстановить всю предысторию отчетов $X(t_i)$. Одновременно происходит и считывание коэффициентов фильтра $K(\tau_m)$.

Децимированные отчеты на выходе АЦП $Y(t_i)$ вычисляются по формуле:

$$Y(t_i) = \sum_{m=0}^{M-1} K(\tau_m) \cdot X(t_i - \tau_m),$$

где $0 \leq m \leq M-1$, M — количество действующих коэффициентов фильтра $K(\tau_m)$;

$\tau_m = m \cdot \Delta t$

t_i — время выборки, $t_i = i \cdot \Delta t$, $i = 1..I$;

Δt — интервал дискретизации сейсмической записи на выходе АЦП;

$\Delta t \cdot I = T_s$ — длительность сейсмической записи;

$K(\tau_m)$ — импульсная дискретная характеристика фильтра.

Преимущества однократной свертки подобного фильтра в сравнении с множеством последовательно-включенных фильтров (многократных сверток), как в CS5376A (рис. 3), заключаются в следующем:

упрощаются вычисления, несмотря на большие их количество, поскольку перемножаются коэффициенты $K(\tau_m)$ — на ± 1 , а не многозначные числа.

— фильтр является линейно-фазовым и имеет групповую задержку равную половине своей импульсной характеристики;

— КИХ-фильтры, в отличие от рекурсивных, не требуют фазовой синхронизации в начале сеанса (установки исходного значения в «0»), что, заметим, не всегда верно, если на входе ненулевое значение входного сигнала (напряжения);

— проще реализовать сложную АЧХ фильтра и, соответственно, импульсную характеристику, которая и есть набор коэффициентов.

Вычисления децимированных отчетов $Y(t_i)$ производятся сразу по 4-м каналам одновременно с использованием одних и тех же коэффициентов фильтра $K(\tau_m)$. Для уменьшения шумов округления при вычислении, разрядность сумматора выбрана, равной 35 + знак, на выход АЦП поступают только старшие 23 разряда и знак. Коэффициенты $K(\tau_m)$ нормированы таким образом, чтобы при смене частоты преобразования, величина выходного кванта осталась неизменной. Учитывая значительную скорость вычислений, коэффициенты фильтра $K(\tau_m)$, при смене частоты квантования, обязательно переписываются из медленного последовательного ПЗУ в скоростное ОЗУ, где хранятся и сами данные.

Внутреннее тестирование встроенным тестовым генератором показывает, что параметры оригинального цифрового КИХ-фильтра нижних частот обеспечивают, например, на периоде квантования 1 мс линейный участок в полосе частот от 0 до 400 Гц и подавление в области задержания свыше 120 дБ.

Система управления измерительного канала РОСА, включающая одновременную организацию

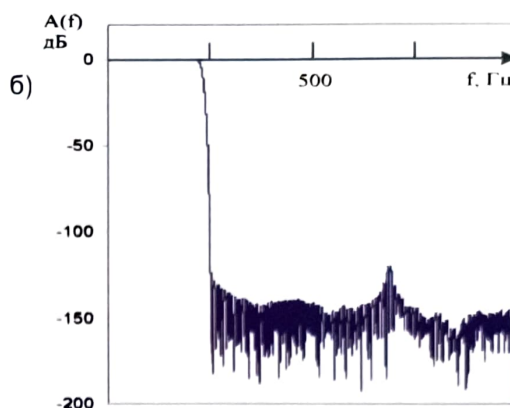
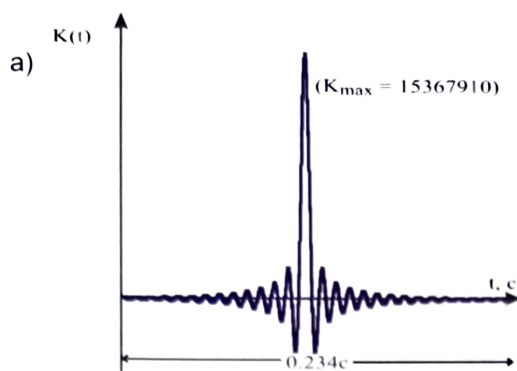


Рис. 2. Импульсная (а) и амплитудно-частотная (б) хар-ки цифрового КИХ-фильтра АЦП регистратора РОСА, интервал дискретизации 1 мс

нескольких независимых процессов, реализована на перепрограммируемых логических матрицах сверхвысокой степени интеграции. Генератор тестовых сигналов регистратора РОСА построен на принципах дельта-сигма цифрового аналогового преобразователя (уровень нелинейных искажений сигналов меньше 0,0005 %) и обеспечивает высококачественный автономный метрологический контроль.

Телеметрическая система РОСА

Телеметрическая система РОСА с высокоскоростным каналом сбора и передачи данных в реальном времени это аппаратно-программный комплекс, объединяющий регистрирующие полевые модули различной конструкции (для суши, транзитных зон, открытой воды), сетевые элементы иерархической структуры, систему распределенного питания, кабельное хозяйство [5]. Система РОСА позволяет построить площадную систему наблюдений различной конфигурации, обеспечивая многоканальную (свыше десяти тысяч) регистрацию сейсмических данных. Распределенная система телеметрии обеспечивает в реальном времени надёжно защищённую передачу цифровых потоков (команд управления и сейсмических данных) со скоростью до 16 Мбит/с по одной линии связи [7].

В качестве центральной станции используется РС-совместимый компьютер под управлением операционной системой MS Windows (NT 5.1). Интерфейс пользователя является дружелюбным, обеспечивает быструю настройку оборудования и прямой оперативный доступ ко всем параметрам полевой системы наблюдения. Встроенное метрологическое обеспечение позволяет выполнять на действующей расстановке контроль технического состояния пространственно распределенной системы сбора и регистрации

данных. Автоконфигурирование системы РОСА при старте обеспечивается режимом «Plug&Play», в котором сбор команд состояний и сейсмических данных выполняется по всем активным линиям системы наблюдения. Для настройки полевой расстановки достаточно передать по сейсмической линии связи пакет данных размером 160 бит.

Электроника и программное обеспечение станции РОСА позволяют использовать её в ведущем и ведомом режимах, а также в пассивном режиме, выполняя синхронизацию всей расстановки по сигналам точного времени GPS-приёмника с погрешностью менее 1 мкс.

Отличительные характеристики телеметрической системы РОСА:

- портативный 4-х канальный сейсмический регистратор;
- регистрация данных высокоразрешающих съёмки;
- иерархический принцип сбора данных;
- работа в ведущем, ведомом и пассивном (мониторинг) режимах;
- синхронизация по сигналам точного времени (GPS) по всей расстановке;
- значительное по спецификации внутреннее самотестирование;
- мониторинг системы в реальном времени;
- дружественный интерфейс;
- возможность масштабирования и изменения конфигурации для реализации различных методов и технологий сейсмических исследований;
- высокая надёжность и снижение эксплуатационных затрат на полевом этапе выполнения поисково-разведочных работ.

Бескабельная система на основе автономных регистраторов РОСА-А

Автономный регистратор РОСА-А включает следующие основные функциональные блоки: четырёхканальный 24-х разрядный АЦП РОСА; устройство управления; блок внутреннего контроля; генератор тестовых сигналов; твердотельную Flash-память; GPS-приёмник; высокостабильный термостатированный тактовый генератор; модуль энергонезависимой памяти [6].

Автономные регистраторы РОСА-А позволяют выполнять сейсмические наблюдения в заданных пунктах приёма без предварительной временной привязки, используя высокоточную систему синхронизации времени. Система синхронизации включает GPS-приёмник, встроенный прецизионный тактовый генератор (нестабильность опорной частоты составляет менее 10^{-8}) и встроенную систему автоподстройки. Как правило, для синхронизации используется GPS-приёмник, который позволяет синхронизировать любое количество регистраторов вне зависимости от продолжи-

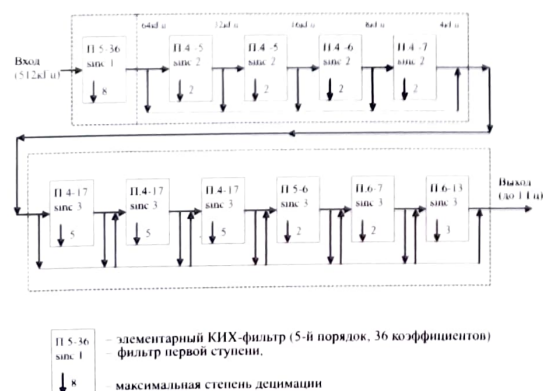


Рис. 3. Структурная схема фильтра-SINC (CS5376A)

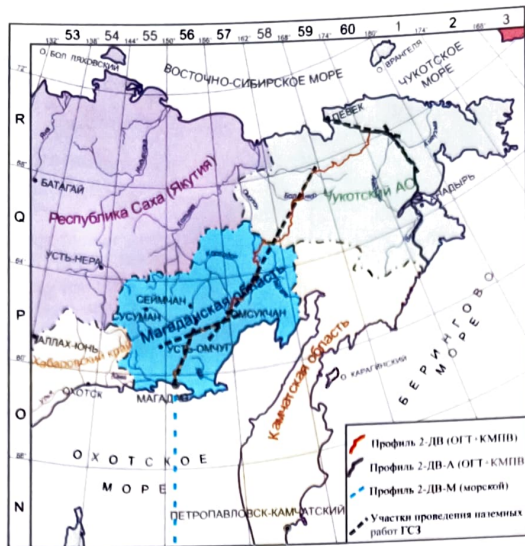


Рис. 4. Схема расположения опорных геофизических профилей 2-ДВ, 2-ДВ-А, 2-ДВ-М

тельности их работы. Режим синхронизации с использованием внутреннего генератора включается только в случае нестабильности приема радиосигналов GPS-приемника.

При программировании режима работы, помимо задания частоты квантования и коэффициента усиления, возможно конфигурирование входов АЦП на работу с внутренним генератором тестовых сигналов для диагностики параметров канала регистрации без использования дополнительных приборов. Контролируются следующие параметры: шумы, максимальный неискаженный сигнал регистрации, коэффициент нелинейных искажений, подавление синфазной помехи, коэффициент взаимного влияния, идентичность коэффициентов усиления, сопротивление и импульсная характеристика подключенного геофона, правильность настроек регистрации.

В качестве энергонезависимой памяти используются промышленные Flash-карты ёмкостью до

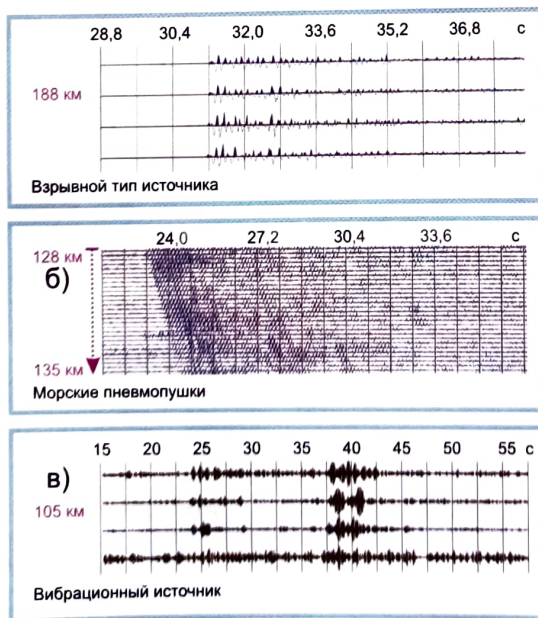


Рис. 5. Сейсмические записи на открытом канале автономной регистрации РОСА-А:

а) взрывы в водоёмах, (опорный профиль 2-ДВ, Чукотский АО); б) морские пневмоизлучатели СИН-6М, объем 80 л, (2-ДВ-М, Магаданская обл.); в) вибратор ЦВП-40, пиковая сила воздействия 400 кН, ЛЧМ (10,5-6,0 Гц), длительность излучения 60 минут, (2-ДВ-А, Чукотский АО)

4Гб с возможностью их замены. Информация на карту используется файловая система FAT16 (32), которая обеспечивает многоуровневое защищенное хранение данных с высокой скоростью передачи (передача данных по беспроводным каналам). Для конфигурирования автономного регистра используется любой персональный компьютер, например Notebook, с USB портом и операционной системой, поддерживающей файловую систему FAT и накопители USB Mass Storage. При подключении регистратор к компьютеру он представляется пользователю как жёсткий диск, аналогично USB FlashDrive).

На основе автономных регистраторов РОСА-А можно сформировать пространственно распределённую бескабельную систему регистрации сейсмических данных с практически неограниченным количеством точек наблюдения.

Отличительные характеристики бескабельной системы РОСА-А:

- портативный 4-х каналный сейсмический регистратор;
- высокоточная внешняя синхронизация по сигналам спутниковой системы GPS;
- свободный режим работы с сейсмическими источниками колебаний;
- регистрация данных высокоразрешающих съёмок;
- выполнение съёмки без предварительной разбивки пикетов;
- исключается неисправность сети из-за отдельного регистратора;
- экономичность за счет исключения аналого-цифровых линий связи;
- многоуровневое защищенное хранение информации, высокая скорость передачи больших объемов информации.

Результаты производственного опробования автономных регистраторов РОСА-А

В 2006-07 гг. автономные регистраторы РОСА-А были использованы при производственных работах методом ГСЗ на Северо-Востоке России [7]. Сейсмические работы были проведены (рис. 4) на геотраверсах 2-ДВ (п-ов Кони — о. Врангеля) и 2-ДВ-А (Певек — Валунистое) в наземном варианте (Чукотский АО) и в варианте «суша-море» (Магаданская область) с использованием источников различного типа: вибраторов, взрывов и морских пневмоизлучателей. В качестве датчиков использовались сейсмодатчики СВ-5, объединенные в точечную группу из 8 штук.

В первом случае регистраторы РОСА-А были запрограммированы на автономную работу продолжительностью 10 суток, и практически была показана надежность работы регистраторов в условиях высоких широт при особо высоком фоне статического электричества. Полученный материал с использованием взрывов и мощных передвижных вибраторов ЦВП-40 [2] характеризуется высоким отношением сигнал/помеха, на сейсмограммах четко прослеживаются преломленные волны в первых вступлениях и поле отраженных волн в последующих (рис. 5а, 5в).

В системе наблюдения «суша-море» возбуждение упругих колебаний осуществлялось на акватории Охотского моря с использованием 80 л. При морских пневмоизлучателях объёмом 80 л. Перед установкой на интервале в 100 км. Перед установкой на профиль регистраторы программировались на режим непрерывной записи длительностью около 50 часов. За двое суток было выполнено около 1000 импульсных воздействий с периодом около 2 минут, что в плане составляло примерно 250-300 м.

В целом полученные сейсмограммы ГСЗ «суша - море» имеют хорошее качество по уровню сигнальной составляющей в целевом диапазоне регистрации на удалении до 250 км от источника (рис. 5б).

Выводы и рекомендации

Можно считать экономически выгодным вариант построения бескабельной пространственно распределенной сейморазведочной системы на основе автономных регистраторов РОСА-А для выполнения достаточно длительных высокочастотных сейсмических измерений (в том числе сейсмического мониторинга и детальных глубинных исследований методом ГСЗ) в наземном варианте и в варианте «суша - море».

Особо отметим, что технология работы с предлагаемой бескабельной системой сбора сейсмических данных обеспечивает регистрацию информации по свободному расписанию с различными источниками возбуждения упругих колебаний, в том числе и с вибрационными. Система наблюдений может состоять из сверхбольшого количества пунктов приёма, распределённых с переменной плотностью по площади исследований, при этом работоспособность сети сбора не страдает из-за отключения или неисправности отдельных полевых регистраторов.

При условии сбора данных в реальном времени, регистрацию можно реализовать с экономичным использованием телеметрической системы РОСА, имеющей аналогичный по техническим характеристикам сейсмический измерительный канал. Телеметрическая система РОСА с высокоскоростным каналом сбора и передачи данных в реальном времени обеспечивает проведение многомерных работ (2D, 3D, 4D), интерактивность технологического процесса с различными источниками возбуждения упругих колебаний и, следовательно, высокое качество

первичных данных (ГС-9С).

Сейсмическая система сбора данных на основе регистраторов семейства РОСА (телеметрических и автономных) по функциональным и техническим характеристикам соответствует лучшим зарубежным аналогам, обладает патентной чистотой, а по соотношению цена-качество превосходят зарубежные станции, поставляемые в Россию.

Литература

1. Дебют регистрирующей системы Scorpion, Input/Output/ Oil & Gas Eurasia, 2006, 12.
2. 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.
3. 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, - 2003, 2.
4. Сагайдачная О.М., Сагайдачный А.В., Шмыков А.Н. Распределённая телеметрическая система регистрации сейсмических данных в реальном времени / Приборы и системы разведочной геофизики, 2004, 4.
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 высокочастотных сейсмических наблюдений. / Приборы и системы разведочной геофизики, 2006, 2.
7. Сагайдачная О.М., Сагайдачный А.В., Сальников А.С., Шмыков А.Н., Щегольков А.В. Первые результаты производственного опробования автономных регистраторов РОСА-А при работах ГСЗ/ Приборы и системы разведочной геофизики, 2006, 4.
8. Федотов С.А. Телеметрические системы – этапы развития/ Приборы и системы разведочной геофизики, 2005, 3.
9. Delta-sigma modulation. From Wikipedia, the free encyclopedia. http://en.wikipedia.org/wiki/Sigma-delta_modulation
10. Flavell Smith J. How a new cable-less land seismic survey acquisition system was born/ FIRST BREAK, February 2006, v 24.
11. Mixed-signal and DSP design techniques. Analog Devices Technical Reference Books, Copyright © 2000 by Analog Devices, Inc. Printed in the USA.
12. Muse R. Acquiring Seismic With Input/Output System Four/ Oil & Gas Eurasia, 2006, 5.
13. Peebler B., Friedemann C. From PC to iPod, How Step-Change Drives Land Seismic/ Oil & Gas Eurasia, 2006, 3.



ООО “ФИРМА”ГЕОСЕЙС”

**Разработка,
производство,
продажа,
импульсных
источников
“ГЕОТОН”.**

G

**Предоставление в
аренду
телеметрического
сейсморегистрирующего
оборудования.**

N

E

S

**ШТАБ
ОПЕРАТИВНОЙ
ГЕОФИЗИЧЕСКОЙ
ПОМОЩИ**

O

**Продажа, сервисное
обслуживание
и предоставление
в аренду сейсмических
вибраторов.**

Адрес: 123104, г. Москва, Сытинский тупик, д. 3, оф. 2

Тел./факс: (495) 202 32 17, 202 32 27

e-mail: geoseis@col.ru, geoton@geoton.ru, <http://www.geoton.ru>