

Опыт построения российских многоканальных телеметрических станций для сейсмических исследований (СТС-24 - СТС-24Р - РОСА)

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

*Посвящается руководителю разработки
отечественной сейсмотелеметрической
станции СТС-24 СТС-24Р
ВАСИЛЬЕВУ ВАСИЛИЮ ПАВЛОВИЧУ*

В середине 90-х годов с началом импорта зарубежных телеметрических станций с большим количеством каналов (свыше 500) производства ведущих фирм Input/Output (США), Sercel (Франция) преимущества телеметрических систем перед линейными станциями при проведении поисково-разведочных сейсмических работ были утверждены практически. Телеметрическая станция обеспечивала помимо повышения производительности сейсмических работ, оптимизации кабельного хозяйства, комфортности при ее эксплуатации, и более высокие параметры регистрирующего канала, такие как уровень шумов, мгновенный динамический диапазон, уровень взаимных помех и т.п. Таким образом, в это время сформировалась необходимость разработки отечественной телеметрической станции, и при доступности элементной базы ведущих производителей электронных компонент появилась возможность выполнения ее. В ФГУП "СНИИГГиМС" совместно с ЗАО "СибОКБ ГП" и при участии ЗАО "НПК СибГеоСейс" был разработан в 1996 г. высокоточный регистрирующий сейсмический канал, в котором аналоговый цифровой преобразователь (АЦП) был построен на базе микросхем нового поколения: комплекта СК5321 фирмы Cristal Semiconductor, Co. (США) в промышленном исполнении [5, 6]. На основе этой разработки при активной поддержке МПР России были созданы первые отечественные образцы 24-х разрядных широкополосных и широкодиапазонных многоканальных телеметрических сейсмостанций: СТС-24 (выпуск 1999 г.) и СТС-24Р (выпуск 2001 г.) [1 - 4]. Достигнутые в этих станциях технические характеристики регистратора (см. таблица) соответствовали лучшим мировым аналогам фирм Input/Output (США), Sercel (Франция), G.Daps-4 (Япония).

Экспериментальные образцы телеметрической станции СТС-24 были переданы производственным геофизическим организациям ФГУ ГНПП "Спецгеофизика" и ФГУП "Иркутскгеофизика" для проведения сейсмических исследований на опорных региональных профилях, на которых получен материал хорошего качества (рис. 1). Станция СТС-24 по аналогии с зарубежными телеметрическими станциями имела шестиканальный модуль и обеспечивала подключение до тысячи каналов. Однако, из-за ограниченности материальных и временных ресурсов, и недостаточного опыта у разработчиков в станции не была реализована система сбора и передачи в реальном времени большого объема сейсмической информации по цифровой линии с необходимым трафиком (до 8 Мбит/с). В станции СТС-24 запись оцифрованных сейсмических данных проводилась во внутреннее ОЗУ модуля с последующей перекачкой информации по окончании сеанса. Передача данных выполнялась со средней скоростью 360 Кбит/с последовательно из каждого модуля по линии связи, состоящей из витой пары, выполненной из провода ГСП (т.п. "полевка"). Построенная так иррационально система сбора данных естественно привела к сокращению возможностей использования интерактивного режима и, как следствие, к ограничению в работе с невзрывными (импульсными и вибрационными) источниками.

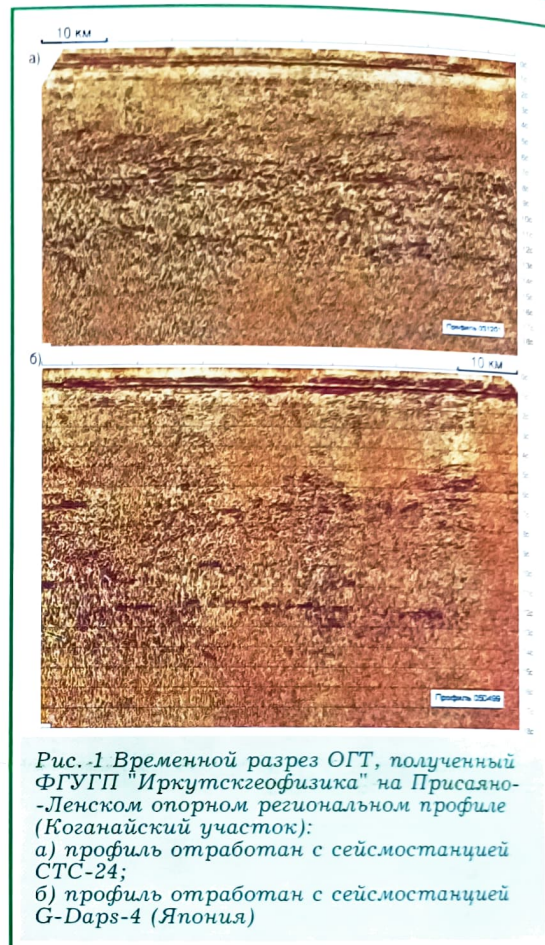


Рис. 1 Временной разрез ОГТ, полученный ФГУП "Иркутскгеофизика" на Присяно-Ленском опорном региональном профиле (Коганайский участок):
а) профиль отработан с сейсмостанцией СТС-24;
б) профиль отработан с сейсмостанцией G-Daps-4 (Япония)

Сейсмостанция СТС-24Р является логичным и последовательным развитием станции СТС-24. Прежде всего, в станции СТС-24Р были расширены функциональные возможности системы управления и создана система сбора сейсмической информации в реальном времени. Разработаны аппаратно-программные средства, обеспечивающие работу станции с вибрационными комплексами, оснащенными современной прецизионной электронной системой управления (типа Pelton VibroPro). В станции предусмотрен ведомый режим, при котором осуществляется прием сигналов внешнего запуска. Этот режим позволяет организовать работу станции совместно с другой регистрирующей аппаратурой или с ударными источниками возбуждения, у которых отметка момента удара фиксируется, например от пьезодатчика. В станции реализована система синхронизации начала регистрации по сигналам точного времени, полученных с датчика GPS стандарта NMEA0183 Trimble Lassen SQ, обеспечивающая пассивные и (или) режимные наблюдения.

Принципиально иначе в станции СТС-24Р построена интерфейсная часть и логика обмена по сейсмической линии связи.

Блок центральной электроники станции построен на базе персонального компьютера, работающего под управлением операционной системы WindowsNT 5.x (Windows 2000 Pro или Windows XP Pro), включающей стандартные

средства для архивации данных (CD-RW, Zip Drive и т. п.), дополненной специально разработанной интерфейсной платой для коммуникации с полевым оборудованием. Интерфейсная плата представляет собой плату расширения PCI, которая устанавливается в свободный слот материнской платы компьютера.

Передача в реальном времени цифровой информации организована пакетами переменной длины со скоростью обмена по линии связи равной 8Мбит/с. Для обеспечения пакетной передачи данных каждый модуль логически сформирован как набор управляющих и информационных регистров размерности до 24 бит. Состояние модуля (активное или пассивное) определяется через команды настройки. Пассивный модуль только ретранслирует данные по линии связи, а активный добавляет данные в проходящий пакет, длина которого с учетом обязательной паузы для разделения не должна превышать во времени период квантования, что контролируется программным обеспечением. Достоверность передачи цифровой информации обеспечивается использованием помехоустойчивых способов кодирования и оригинальных алгоритмов настройки, синхронного запуска и синфазной работы регистрирующих каналов. Запуск полевого оборудования по всей расстановке осуществляется командами управления, которые синхронизованы сигналами точного времени 1PPS от GPS приемника с погрешностью 90нс. Реализация синфазной работы модулей обеспечивается фазовой подстройкой тактовой частоты под частоту ведущего модуля. Подстройка рабочей частоты АЦП проводится таким образом, чтобы готовность данных формировалась в момент прохождения пакета данных через модуль. Такой способ гарантировано исключает расхождения частот квантования в модулях при любой длительности наблюдения.

Модернизировано и дополнено программное обеспечение станции СТС-24Р, которое позволяет выполнить настройку параметров системы регистрации и системы наблюдений, организовать работу станции в ведущем, ведомом и пассивном (мониторинг) режимах. Разработано программное обеспечение экспресс-обработки вибросейсмической информации, функционально заменяющее аппаратные корреляторы. Сервисное программное обеспечение дополнено системой дистанционного и оперативного контроля и метрологического тестирования технических параметров станции с составлением полного отчета результатов измерений.

Разработанный набор аппаратных и полевых тестов удовлетворяет регламентируемым требованиям к сейсмической аппаратуре, предъявляемыми заказчиками геофизических работ.

Телеметрическая станция СТС-24Р прошла многофункциональную апробацию в производственных условиях при проведении региональных, поисково-разведочных, детальных наземно-скважинных сейсмических исследованиях, а также инженерных изысканий, обеспечивающих экологическую безопасность техногенных объектов (гидротехнических сооружений, железнодорожных насыпей, тоннелей).

Региональные работы со станцией СТС-24Р проведены в 2001-2002 гг. на удалениях до 200 км на опорных геофизических профилях п. Быстровка (Новосибирская обл.) г. Новокузнецк (Кемеровская обл.), 2-ДВ (Магаданская обл.) совместно с Геофизической службой СО РАН (рис.2).

В качестве источника упругих колебаний использовался уникальный передвижной 40-тонный вибратор ЦВ-40, излучающий свип-сигнал (6.25-9.57 Гц) длительностью 52 минуты.

Детальные сейсмические работы с целью изучения межскважинного пространства и поиска высокопроницаемых нефтенасыщенных участков выполнены со станцией СТС-24Р по методике совмещенных наземно-скважинных работ ОГТ-2Д+ВСП совместно с СОМГЭИС (филиал ОАО

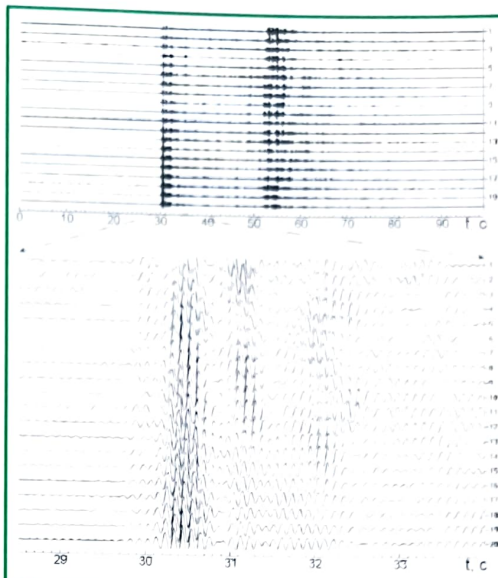


Рис. 2 Фрагменты коррелограммы, зарегистрированной сейсмостанцией СТС-24Р на геотраверсе 2-ДВ (Магаданская обл.) на удалении 174,5 км

"Сибнефтегеофизика") в 2002 г. в Западной Сибири (рис. 3).

Отметим также, что реализованные в телеметрической станции СТС-24Р научно-технические решения были использованы в совместной с СКБ МГП НИПИОкеангеофизика разработке телеметрической кабельной системы для сейсмических исследований в переходных или транзитных зонах "суша-море" (ССТ-480). Проведенные опытные работы с системой ССТ-480 в предельном мелководье на Таманском полуострове подтвердили высокие технические характеристики и надежность системы в полевых условиях.

Многоканальная сейсмотелеметрическая система СТС-24Р была разработана по заказу МПР России для проведения региональных сейсмических исследований, однако, как показали полевые испытания в производственных условиях, она может эффективно применяться в поисково-разведочных работах. Мобильность и регулируемая под конкретную методику

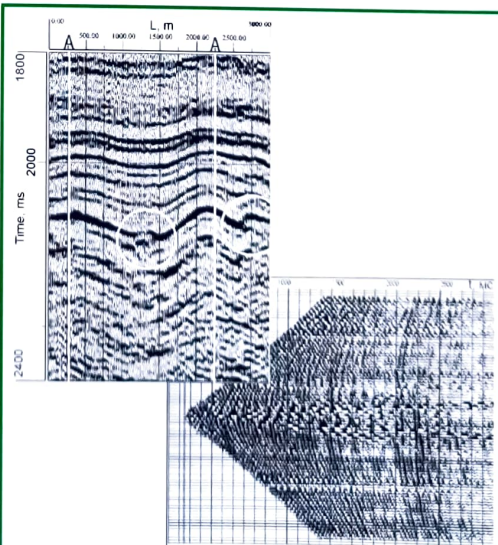


Рис. 3 Временной разрез, полученный по методике ОГТ-2Д+ВСП, и полевая сейсмограмма, зарегистрированная станцией СТС-24Р (Западная Сибирь, Новосибирская обл.)

ТЕЛЕМЕТРИЯ В ГЕОФИЗИКЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

конфигурация станции СТС-24Р, надежная система телеуправления, достигнутые уровни мировых стандартов технические характеристики регистрирующего канала являются важным результатом в решении проблемы создания импортозамещающих сейсмических телеметрических станций. Принимая во внимание выше изложенное, а также более низкую (примерно в два раза) стоимость по сравнению с зарубежными аналогами и возможность оперативного, экономичного сервисного обслуживания, многофункциональная сейсмотелеметрическая станция СТС-24Р может считаться конкурентоспособной при реализации современных технологий сейсморазведочных работ с различными источниками (вибрационными, импульсными, взрывными).

Актуальность новой разработки телеметрической системы РОСА (Российская Сейсмическая Аппаратура) для проведения детальных сейсмических работ, в том числе с многокомпонентной регистрацией данных, обусловлена современными выдающимися достижениями в области высоких технологий (hi-tech), и находит отражение в активной патентной политике мировых лидеров в области создания геофизической аппаратуры в данном направлении.

Сейсмостанция РОСА разработана с использованием оригинальных решений, реализованных в телеметрической системе СТС-24Р и защищенных патентами РФ [2, 4], выполнена на элементной базе нового поколения: многократно программируемых логических матриц высокой и сверхвысокой степени интеграции, прецизионных малошумящих аналоговых компонент, интегральных источников питания, высокоскоростных элементов телекоммуникаций и т.п. Качественно новые результаты при создании станции были получены через инженерные решения в области схемотехники и технологии проектирования, обеспечивающие более высокий уровень надежности системы регистрации и управления, минимизацию энергопотребления.

При разработке программного обеспечения полевого оборудования также были использованы результаты, достигнутые при создании телеметрической системы СТС-24Р, в частности способ формирования пакетов данных в старт-стопном режиме, который показал высокую помехоустойчивость. Поэтому по сигналам в сейсмических линиях связи сохранена преемственность со станцией СТС-24Р, а за счет сокращения длины линии и использования в передатчиках новых микросхем обеспечена возможность работы на линиях связи различной длины. Интерфейс обмена данными реализован с использованием служебного канала связи для постоянного мониторинга системы регистрации. Разработанный протокол обмена данных по сейсмическим линиям связи обеспечивает обмен данными вне зависимости от количества линий связи, соединяющих основные элементы станции. Логическое построение станции и структура пакетов информации в линиях связи позволяют принимать данные нескольких тысяч каналов. Пропускная способность магистральных кабелей, имеющих 8 пар передачи данных, обеспечивает суммарную скорость передачи цифровой информации в реальном времени до 64 Мбит/с.

Особое внимание при разработке сейсмотелеметрической станции было уделено модулю, как ее важнейшему элементу. Модули построены 4-х канальными с возможностью подключения многокомпонентного датчика, укомплектованы элементами, обеспечивающими дистанционный мониторинг параметров питания и температуры окружающей среды (рис. 4). Все входы модуля снабжены элементами грозозащиты. Многокомпонентный датчик подключается непосредственно к модулю, а линия связи в этом случае содержит две пары передачи данных и пару передачи питания. Модуль работает с сейсмическими линиями связи переменной длины (от 0 м до 220 м) без



Рис. 4 Портативный 4-х канальный модуль сейсмостанции РОСА.

специальной дополнительной настройки.

Система управления работы модуля реализована на перепрограммируемых логических матрицах сверхвысокой степени интеграции фирмы Altera, обеспечивающих одновременную организацию нескольких независимых процессов. На матрице Altera выполнены: микропрограммный автомат управления модулем, схема управления потоками цифровой информации по линиям связи, цифровой 24-х разрядный дельта-сигма модулятор встроенного генератора тестовых сигналов, система контроля метрологических параметров модуля, цифровой 4-х канальный фильтр с конечной импульсной характеристикой (КИХ-фильтр) низких частот АЦП. Программное обеспечение модуля хранится в перезаписываемой "флэш" - памяти, объем которой достаточен для возможных расширений и модернизаций в будущем.

Новые схемные решения в проектировании аналогового тракта сейсмического канала станции РОСА позволили значительно улучшить качество аналого-цифрового тракта по сравнению со станцией СТС-24Р и превзойти по основным показателям (отношение сигнал/шум, коэффициент нелинейных искажений, мгновенный динамический диапазон) заявленные параметры телеметрических зарубежных станций, поставляемых в Россию (см. таблицу). В аналоговом входном тракте сейсмического канала регистрации применен полностью дифференциальный усилитель с дифференциальными входом и выходом и с переключаемыми коэффициентами усиления, который построен на двух малошумящих прецизионных операционных усилителях последних разработок фирмы Analog Device (OP284FS) [11]. Полностью симметричная схема дифференциального усилителя, использование прецизионных пассивных компонентов позволяет достичь уровня подавления синфазного сигнала не ниже 100 дБ. Использование усилителей "Rail-to-rail" обеспечило возможность работы при низком однополярном напряжении питания равном +5В получить диапазон входных напряжений $\pm 5В$ (p - p). Входной каскад содержит диодные ограничители для защиты входов от перенапряжения, анти-аляйсинговые фильтры второго порядка и аналоговые коммутаторы. Примененная коммутация позволяет подключить к АЦП не только измерительные тракты регистратора, но и тестовые сигналы, и эквивалент нагрузки. Такая реализация коммутатора сигналов позволяет провести проверку метрологических параметров всего тракта, выполнить контроль состояния геофонов, оценить взаимное влияние каналов и наличие их утечки.

Кроме усилителя был разработан 24-х разрядный АЦП сейсмического канала станции РОСА, функционирующий при однополярном напряжении питания +5В с характеристиками не хуже, чем у АЦП на базе микросхем Cristal СК5321 регистратора станции СТС-24Р. Построение 24-х разрядного АЦП было выполнено в двух вариантах: в первоначальном, с использованием сигма-дельта модулятора второго порядка Burr Brown ADS1201 совместно с

Таблица 1 Основные технические характеристики полевых телеметрических модулей

параметры	MRX-2 станции Input/Output System Two	SU6-B станций Sercel SN388 и Sercel 408UL	SU1-UL станций Sercel SN388 и Sercel 408UL	RSU станции G-DAPS-4A	станции CTC-24P	станции POCA
количество каналов регистрации	6	6	1	6	6	4
интервал дискретизации, мс	0,5; 1,0; 2,0; 4,0	1,0; 2,0; 3,0; 4,0	1,0; 2,0; 3,0; 4,0	0,5; 1,0; 2,0; 4,0	0,25; 0,5; 1,0; 2,0; 4,0; 8,0; 16,0	0,125; 0,25; 0,5; 1,0; 2,0; 4,0; 8,0; 16,0
аналого-цифровой преобразователь	24 разряда					
мгновенный динамический диапазон	более 120 дБ					
коэффициент нелинейных искажений	менее 0,0005%	менее 0,0003%	менее 0,0003%	менее 0,0005%	менее 0,002%	менее 0,0005%
взаимные влияния между каналами	менее минус 110 дБ	менее минус 90 дБ	не имеет значения	менее минус 100 дБ	менее минус 110 дБ	менее минус 110 дБ
действующее значение напряжения шума канала, приведённое ко входу при усилении (дБ)	менее 0,15 мкВ (36 дБ)	менее 0,4 мкВ (24 дБ)	менее 0,4 мкВ (24 дБ)	менее 1,48 мкВ (6 дБ)	менее 0,2 мкВ (36 дБ)	менее 0,15 мкВ (36 дБ)
потребляемая мощность на канал	менее 0,6 Вт	менее 0,24 Вт	менее 0,8 Вт	менее 0,42 Вт	менее 0,33 Вт	менее 0,2 Вт
способ питания	1 аккумулятор на модуль	1 аккумулятор на 48 каналов	1 аккумулятор на 40 каналов	1 аккумулятор на модуль	1 аккумулятор на модуль	1 аккумулятор на 60 каналов
габариты модуля	250x250x200мм	217x217x122мм	217x217x122мм	304x264x170мм	242x242x150мм	145x87x65 мм
масса модуля	менее 4,5 кг	менее 3,85 кг	менее 1,45 кг	менее 6 кг	менее 5 кг	менее 1 кг
диапазон рабочих температур	от минус 40°С до плюс 70°С			от минус 40°С до плюс 60°С		
максимальная длительность регистрации	20000 отсчетов			32768 отсчетов	до и более 200000 отсчетов	

цифровым фильтром низких частот собственной разработки и, в последующем, с появлением комплекта микросхем Cristal CS5372-CS5376, с использованием двухканального сигма-дельта модулятора четвертого порядка CS5372 из этого комплекта [7 - 9,12]. Обработка последовательного непрерывного потока данных от модулятора и получение 24-х разрядного слова (отчета) в АЦП выполняется с использованием оригинального цифрового КИХ-фильтра нижних частот. Разработанный цифровой фильтр имеет уникальные характеристики: узкая переходная полоса, высокая равномерность в полосе пропускания, большое затухание в полосе задержания (рис. 5). В модуле реализовано несколько различных КИХ-фильтров в зависимости от частоты квантования, в частности

КИХ-фильтр для периода квантования 1 мс содержит 32000 отводов. Коэффициенты фильтра хранятся в ПЗУ регистратора, откуда они перезаписываются в быстрое ОЗУ, но могут быть загружены и по линии связи. В сочетании с фильтром собственной разработки сигма-дельта модулятор BB ADS1201 образует 24-разрядный АЦП с характеристиками, сравнимыми с параметрами АЦП, построенном на базе микросхем Cristal CK5321, но с меньшими габаритами и энергопотреблением. Применение сигма-дельта модулятора Cristal CS5372 совместно с фильтром собственной разработки позволяет получить уникальный 24-разрядный АЦП, значительно превосходящий по основным параметрам (мгновенный динамический диапазон, уровень собственных шумов, коэффициент

ТЕЛЕМЕТРИЯ В ГЕОФИЗИКЕ ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

нелинейных искажений) реализованные решения с использованием комплекта Cristal CK5321.

Генератор тестовых сигналов модуля станции РОСА построен на принципах дельта-сигма цифрового аналогового преобразователя (ЦАП) и обеспечивает уровень нелинейных искажений сигналов меньше 0,0001%. Реализованные параметры внутреннего генератора тестовых сигналов определяют высокое качество автономного метрологического обеспечения.

Система электропитания модуля выполнена на импульсном стабилизаторе с диапазоном питающих напряжений 9В - 45В. Мощность потребления 4-х канального модуля составляет около 1 Вт. Широкий диапазон входных напряжений позволяет осуществить питание линейных фрагментов по сейсмическому кабелю на расстояниях до 3 км в одну сторону. При увеличении длины расстановки до 10 км в одну сторону модули комплектуются дополнительным источником питания с входным напряжением в диапазоне 40В 121В.

Многоканальная многокомпонентная телеметрическая сейсмостанция РОСА, разработанная на элементной базе нового поколения, является импортозамещающей. По функциональным и техническим характеристикам она соответствует лучшим зарубежным аналогам, а по отдельным параметрам (стоимость, вес, габариты, потребление энергии, частота дискретизации и длительность регистрации) превосходит зарубежные станции, поставляемые в Россию. Станция позволяет реализовывать площадные системы наблюдения и многокомпонентную регистрацию, обеспечивает высокую эффективность детальных сейсмических работ, в том числе и совмещенных наземно-скважинных исследований при решении сложных геологических задач, относящихся к

области поиска, разведки и доразведки месторождений углеводородов.

Отличительными характеристиками станции РОСА являются:

- портативный 4-х канальный полевой модуль;
- иерархический принцип построения, работа в ведущем, ведомом и пассивном (мониторинг) режимах;
- синхронизация по сигналам точного времени (GPS) по всей расстановке системы;
- значительное по объему и спецификации внутреннее самотестирование;
- организация непрерывного и большого объема потока сейсмических данных без ограничения по времени;
- мониторинг системы в реальном времени.

Таким образом, наш собственный опыт построения многоканальных телеметрических станций с 24-разрядными аналого-цифровыми преобразователями высокого разрешения позволяет утверждать, что параметры регистрирующего тракта, такие как собственные шумы, динамический диапазон и т.п. в настоящее время достигли определенных пределов и могут быть повторены. Это связано, прежде всего, с доступностью новейшей элементной базы, в том числе и многократно программируемых логических микросхем. И, следовательно, достижение высоких характеристик сейсмического канала регистрации в настоящее время определяется не столько элементной базой, а в большей мере уровнем схемотехники, технологии проектирования и производства. Оптимальные результаты в создании современных сейсмических регистрирующих систем следует достигать в новых решениях, обеспечивающих высокую надежность регистрации больших объемов информации данных нескольких тысяч каналов, при минимизации энергопотребления и расширении сервисного программного обеспечения. Применение многократно программируемых логических матриц позволяет создать станцию с заданными параметрами и с возможностью осуществлять ее модернизацию под требования новых технологий полевых работ.

Литература

1. Васильев В.П., 2001, Технология и технические средства обеспечения региональных сейсмических работ. Методы, технические средства, методика обработки и интерпретации геолого-геофизических исследований при создании государственной сети опорных геофизических профилей: Доклады Всероссийского семинара (Новосибирск, 10-13 ноября 1999 г.) Новосибирск: СНИИГГИМС.
2. Васильев В.П., Шмыков А.Н., Сагайдачный А.В. и др., 2002, Способ сбора сейсмических данных и устройство для его осуществления. Патент РФ №2189615. Б.И. 26.
3. Сагайдачная О.М., Мальцев А.И., Птицына Т.С. и др. Отечественная многоканальная телеметрическая станция СТ-24Р для сейсмических исследований. Геофизический вестник ЕАГО, №10, 2002 г. с. 10-16.
4. Шмыков А.Н., Сагайдачный А.В., Сагайдачная О.М., Щегольков А.В. Устройство фазовой автоподстройки тактовой частоты аналого-цифровых преобразователей в многоканальных системах сбора сейсмических данных. Решение о выдаче патента на изобретение от 11.09.02.
5. CS5320/21/22. Product Data Sheet (pdf) 10/1999, DS454PP1:796 Kb, Copyright, 1999, Cirrus Logic, Inc.
6. AN053 The CS5322 Digital Filter (pdf) 07/1996, AN53REV2:171 Kb, Copyright, 1999, Cirrus Logic, Inc.
7. CS5371/72. Product Data Sheet (pdf) 08/2001, DS225PP2:367 Kb, Copyright, 1999, Cirrus Logic, Inc.
8. Single-Sensor Seismic, Earthquake Monitoring, Sonar Copyright, 2001, Cirrus Logic, Inc.
9. Standard Seismic, Reservoir Monitoring, Sonar Copyright, 2001, Cirrus Logic, Inc.
10. Cirrus Logic's New Seismic Measurement Chip Pumps Up Next-Generation Energy-Exploration System Capabilities September 7, 2001 Copyright, 2001, Cirrus Logic, Inc.
11. Mixed-signal and DSP design techniques. Copyright © 2000 by Analog Devices, Inc. Printed in the USA.
12. A. Rodriguez-Vazquez, F. Medeiro and B. Perez-Verdi, 2000, High-Speed, High-Resolution УД Modulators: An Overview with Emphasis on Cascade Architectures - Workshop on Embedded Data Converters - Stockholm, September 22.

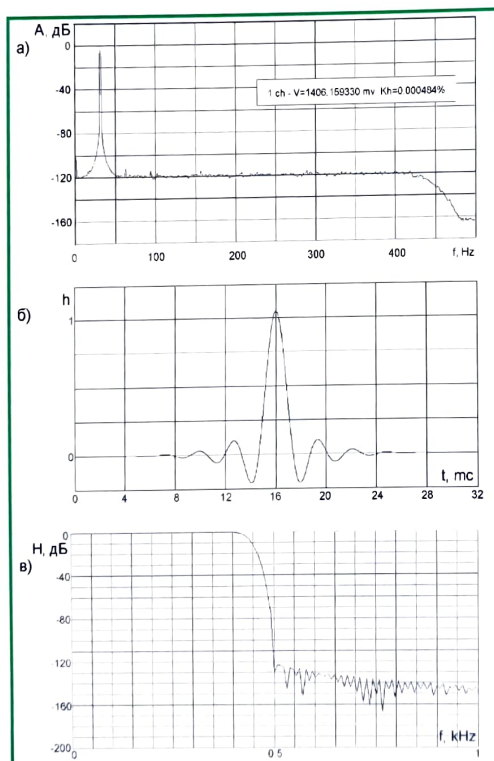


Рис. 5
а) Амплитудный спектр реального гармонического сигнала (А), полученного при измерении коэффициента нелинейных искажений сквозного тракта, (Kh);
б) импульсная характеристика КИХ-фильтра, (h);
в) амплитудно-частотная характеристика КИХ-фильтра (H) для интервала дискретизации 1 мс