

А. Ф. ЧЕРНЯВСКИЙ, А. Ф. РОМАНОВ, А. М. МУХАРСКИЙ

МНОГОФУНКЦИОНАЛЬНЫЕ ГЕОФИЗИЧЕСКИЕ КОМПЛЕКСЫ ДЛЯ ПОИСКА ЗАЛЕЖЕЙ ПОЛЕЗНЫХ ИСКОПАЕМЫХ

ВВЕДЕНИЕ

Основой комплексных геофизических исследований и высокоэффективных геологоразведочных работ является современная геофизическая аппаратура. Проблема обновления парка геофизической аппаратуры в республике решается путем разработки и изготовления отечественной современной компьютеризированной аппаратуры, не уступающей по своим параметрам лучшим зарубежным образцам. В НИИ прикладных физических проблем Белгосуниверситета на протяжении последних шести лет было разработано и внедрено в ПО «Белгеология» несколько крупных комплексов такой аппаратуры [1].

Сложность построения соответствующей геофизической аппаратуры обусловлена необходимостью регистрировать слабые инфранизкочастотные сигналы в широком динамическом диапазоне в присутствии довольно мощных помех естественного и искусственного происхождения, наличием большого количества датчиков, размещенных на значительном расстоянии друг от друга и от пункта регистрации, требованиями с минимальными потерями передавать информацию на значительные расстояния.

Для решения поставленной задачи были разработаны модули автономных устройств регистрации, которые осуществляют прием, усиление и преобразование аналоговых сигналов в непосредственной близости от места приема с последующей передачей цифровой информации по линиям связи на центральную станцию регистрации. Для преобразования аналоговых сигналов в цифровую форму в широком динамическом диапазоне использованы сигма-дельта аналого-цифровые преобразователи ($\Sigma\Delta$ АЦП). Эти АЦП известны уже около тридцати лет, однако только развитие электронной технологии позволило создать микросхемы, которые обеспечивают преобразование в широком динамическом диапазоне с высоким разрешением и при низкой потребляемой мощности. Некоторые производители включают в состав таких преобразователей входные усилители с программно-регулируемым усилением, цепи самокалибровки и возможность регулировки характеристик цифрового фильтра. В зависимости от параметров преобразователь выполняется на одном кристалле или в виде комплекта из двух микросхем – отдельно модулятор и цифровой фильтр.

Проведенные исследования различных вариантов подключения датчиков в дистанционных системах сбора измерительной информации позволили разработать ряд интерфейсов, различающихся как количеством абонентов (источников информации), плотностью потока данных, так и их территориальной распределенностью. В зависимости от количества и удаленности датчиков, объема передаваемой информации используются различные конфигурации и физические носители линий связи (электрические проводные, оптоволоконные или радиочастотные). При этом существующие стандарты на приборные интерфейсы малоприменимы для использования.

1. МНОГОКАНАЛЬНАЯ СЕЙСМОРАЗВЕДОЧНАЯ АППАРАТУРА

Многоканальный телеметрический сейсморазведочный комплекс «Геос-Беларусь» [2] предназначен для проведения методом площадной сейсморазведки поисковых работ на нефть, газ и другие полезные ископаемые.

Методика поисковых работ предполагает сбор информации с большого числа сейсмодатчиков, расположенных определенным образом на некоторой площади. Причем уровень входных сигналов изменяется в процессе регистрации от единиц вольт до десятков микровольт. Комплекс «Геос-Беларусь» состоит из центральной станции регистрации (ЦСР), размещенной в спецкузове автомобиля повышенной проходимости, и комплекта выносного оборудования, включающего выносные модули съема-преобразования (МСП) с блоками аккумуляторного питания и электронно-волоконнооптические линии передачи (ЭВОЛП).

Модули МСП комплекса выполняют функцию приема и усиления сейсмического сигнала, его преобразование в цифровой код и передачу преобразованной информации на центральную станцию регистрации. Преобразование сигнала реализовано на основе 24-разрядных АЦП фирмы Crystal Semiconductor CS5321/CS5322, выполненных в виде комплекта из двух микросхем: сигма-дельта модулятор четвертого порядка с изменяемой частотой преобразования и цифровой фильтр с семью выбираемыми частотами среза в диапазоне от 25 до 1650 Гц. Динамический диапазон преобразования при полосе принимаемых частот до 411 Гц и максимальном входном сигнале $\pm 4,5$ В составляет не менее 120 дБ. Для приема слабых сигналов имеется входной усилитель с соответствующими цепями управления для переключения коэффициента усиления.

Все выносные модули МСП комплекса «Геос-Беларусь» физически организованы в линии наблюдения, представляющие собой группы МСП, последовательно соединенные электронно-оптическими линиями передачи и подключенные к соответствующим модулям памяти в блоке регистрации ЦСР. Скорость передачи данных по ЭВОЛП в линиях наблюдения между МСП и к ЦСР – 4,1 МГц с восстановлением цифрового кода в каждом МСП.

При невозможности развертывания ЭВОЛП на труднопроходимых участках местности для передачи сейсмических данных используется радиомодуль, обеспечивающий накопление в реальном времени данных от трех МСП и передачу данных испытаний в ЦСР по УКВ-радиоканалу со скоростью 666 Кбод.

Комплекс обеспечивает проведение площадных сейсморазведочных работ с регистрацией до 960 активных сейсмических каналов на 10 линиях наблюдения.

Комплекс используется в течение четырех лет одной из геофизических сейсморазведочных партий ПО «Белгеология» для выполнения поисковых работ на нефть.

Опыт промышленной эксплуатации комплекса и развитие элементной базы позволили создать опытный образец телеметрического сейсморазведочного комплекса «ГЕОКОС-ТСК2», который имеет более высокие метрологические характеристики. Комплекс «ГЕОКОС-ТСК2» состоит из центральной станции регистрации (ЦСР) и комплекта выносного оборудования, включающего 6-канальные модули съема-преобразования (МСП), соединенные между собой телеметрическим кабелем. В качестве преобразующего звена используется $\Sigma\Delta$ АЦП фирмы Analog Devices AD1555/AD1556. Этот АЦП выполнен в виде комплекта из двух микросхем, однако модулятор четвертого порядка дополнен еще усилителем с программно-регулируемым коэффициентом усиления в диапазоне от 0 до 42 дБ и входным коммутатором, обеспечивающим подачу на вход усилителя как основного сигнала, так и сигнала для тестирования и калибровки тракта преобразования. Динамический диапазон преобразования составляет 120 дБ при полосе пропускания до 408 Гц и максимальном входном сигнале $\pm 2,25$ В. Как видно из сравнения приведенных параметров, в последнем случае отношение сигнал/шум увеличивается на 6 дБ. Кроме того, встроенный усилитель не только обеспечивает сохранение указанного динамического диапазона при единичном усилении, но и дает его уменьшение всего лишь на 0,5 дБ при усилении сигнала в 2,5 раза. Таким образом, можно констатировать, что система, выполненная на основе рассматриваемого комплекта сигма-дельта АЦП, расширяет диапазон амплитуд обрабатываемых сейсмосигналов не менее, чем в 4 раза. Микропроцессорное управление МСП позволяет проводить автоматическое тестирование и калибровку каждого канала, диагностику неисправностей, контроль сейсмической косы и сопротивления изоляции линий. Шестиканальные модули съема-преобразования имеют значительно меньшие габариты и вес, снижено энергопотребление.

Комплекс обеспечивает проведение площадных сейсморазведочных работ с регистрацией до 2976 активных сейсмических каналов на 16 линиях наблюдения. Для обеспечения перемещения окна наблюдения может быть добавлено до 16 линий наблюдения и обеспечена их коммутация. Число активных каналов в каждой линии – 186.

При организации высокоскоростного мониторинга такого значительного количества территориально удаленных датчиков использован интерфейс передачи смешанных сигналов E1 с пропускной способностью 2,048 Мбит/с, базирующийся на спецификациях ITU-T G.703, G.732 и G.704. Стандарт E1 поддерживает одновременную работу до 32 каналов с пропускной способностью 64 Кбит/с по одной физической линии связи. Схемы фреймеров стандарта E1/T1 задают цифровую синхронизацию и определяют аварии в потоке данных. Трансиверы восстанавливают из аналогового сигнала тактовую частоту и данные, содержат активный фильтр, который реконструирует принятый аналоговый сигнал при нелинейных

искажениях в передаче сигнала. Трансиверы стандарта E1/T1 обеспечивают трансляцию данных по витой паре на расстояние до 2 км.

Прием и накопление данных, поступающих по линиям связи, осуществляется в центральной станции регистрации посредством многоканального HDLC-контроллера для канализированных E1/T1 потоков DS3134 Chateau.

Автоматизированное рабочее место (АРМ) оператора построено на базе персонального компьютера с процессором Pentium. АРМ предоставляет оператору широкие возможности интерактивного управления процессом подготовки и проведения сейсморазведочных работ. АРМ позволяет провести: подготовку топоосновы на растровой топокарте, сквозное тестирование аппаратуры станции и каналов съема и передачи информации, обработку и воспроизведение зарегистрированных данных на экране монитора и на принтере, архивирование сейсмоданных на магнитооптических дисках

Для более эффективного использования имеющегося оборудования разработана и осуществлена модернизация сейсмостанции «Прогресс-3» (в ее состав введено автоматизированное рабочее место оператора).

АРМ оператора содержит мобильную ПЭВМ, магнитооптический накопитель, видеомонитор, скоростной принтер, блок сопряжения с аппаратурой сбора и передачи информации от измерительного комплекса к ПЭВМ через высокоскоростной канал связи ЕСР.

АРМ оператора работает совместно с блоком аналого-цифрового преобразования станции «Прогресс». Основные параметры используемого блока преобразователя и предварительных усилителей при согласовании с новым оборудованием АРМ оператора не изменяются и соответствуют требованиям, оговоренным ТУ на блок.

Модернизированная сейсмостанция обеспечивает регистрацию сигналов в цифровой форме от 48 сейсмических и 4 вспомогательных каналов путем записи в память ПЭВМ с последующей перезаписью на диск магнитооптического накопителя. При работе с вибрационными источниками возбуждения обеспечивается получение спектральных характеристик и полноразрядных коррелограмм. Созданы программы группового тестирования и индивидуального диагностирования вибраторов. Сейсмостанция может работать как в ведущем, так и в ведомом режиме совместно с другими сейсмостанциями «Прогресс».

Опытно-производственная эксплуатация трех модернизированных сейсмостанций в Беларуси и на Украине в течение двух лет показала высокую надежность и удобство пользовательского интерфейса оператора, снижение затрат на расходные материалы, что обеспечивает существенное продление срока жизни сейсмостанций «Прогресс».

2. АППАРАТУРА ДЛЯ СКВАЖИННЫХ РАБОТ

Специализированный комплекс для проведения скважинных сейсмических работ «Геос-ВСП» [3] используется при осуществлении геологоразведочных работ на нефть, газ и другие виды полезных ископаемых. В состав специализированного комплекса входят: компьютеризированная станция ВСП, подъемник, каротажный

кабель КГ7-75-130 длиной 5 км и скважинный сейсмозонд АСС, смонтированные в спецкузове на шасси автомобиля КРАЗ.

При разработке комплекса решалась задача создания автономной станции на небольшое количество каналов с высокими метрологическими параметрами. Для преобразования сейсмических сигналов в цифровую форму используется 24-разрядный сигма-дельта АЦП фирмы Analog Devices AD7731. Мгновенный амплитудный динамический диапазон в полосе частот до 500 Гц составляет не менее 100 дБ при максимальной амплитуде входного сигнала $\pm 1,28$ В. АЦП имеет встроенный входной усилитель, который обеспечивает программную установку коэффициента предварительного усиления в диапазоне 0...48 дБ с шагом 6 дБ, а также функцию калибровки нуля и полной шкалы преобразования. Использование этих возможностей позволило осуществить регистрацию сигналов с уровнем смещения и дрейфа нуля на уровне шумов канала. В отличие от двух рассмотренных выше комплектов в данном $\Sigma\Delta$ АЦП цифровой фильтр, расположенный на одном кристалле с модулятором, имеет существенно худшие характеристики подавления сигнала вне полосы пропускания – уровень подавления порядка –40 Б против –35 Б. Это обстоятельство требует внимательного отношения к спектральному составу сигнала, поступающего на АЦП. В рассматриваемой системе дополнительная фильтрация на входе обеспечивается, с одной стороны, характеристикой используемых сейсмоприемников, а с другой стороны, самой структурой принимаемого сейсмического сигнала, отфильтрованного прохождением через толщу земных пород.

Станция имеет 12 аналоговых регистрирующих каналов с частотным диапазоном 5...500 Гц. Архивирование зарегистрированных сейсмосигналов осуществляется на магнитооптических дисках.

В качестве регистрирующего и управляющего узла станции используется переносной компьютер типа Notebook. Обмен между 4-канальными модулями аналого-цифрового преобразования и компьютером осуществляется по каналу LPT в режиме ECP. Число каналов станции легко может быть увеличено (кратно четырем) установкой дополнительных модулей АЦП. Питание всей станции осуществляется от аккумуляторных батарей напряжением 12 В.

Система регистрации сейсмических данных обеспечивает: тестирование основной аппаратуры, отображение ствола скважины, отображение данных состояния пульта зонда и пульта подъемника, регистрацию и визуализацию сейсмических данных.

Широкие функциональные возможности, большой динамический диапазон регистрируемых сигналов и удобный пользовательский интерфейс обеспечивают высокую эффективность проведения сейсмических исследований в скважинах.

Компьютеризированная каротажная станция «Геос-КСК» позволяет проводить полный комплекс геофизических исследований скважин (ГИС) в составе каротажной лаборатории с каротажным кабелем и комплектом скважинных приборов без их пультов управления.

Блок питания скважинных приборов обеспечивает выдачу постоянного или переменного напряжения для питания скважинных приборов с требуемым напряжением, током и с требуемой частотой (для источника переменного напряжения), с

защитой от перегрузки или неправильного включения источника, а также напряжений для управления механизмами скважинного прибора.

Каротажная станция формирует контрольные сигналы, необходимые для градуировки измерительных каналов, установки и контроля масштаба регистрации геофизических параметров.

Цифровая регистрация позволяет применять комплексные скважинные приборы, измеряющие до восьми параметров одновременно. Регистрация осуществляется на жесткий диск ПЭВМ и магнитооптические носители в формате LIS-79 или LAS. Осуществляется текущий контроль записей, их документирование с помощью печатающего устройства.

Программное обеспечение каротажной станции включает: задание типа скважинного прибора, тестирование основных узлов каротажной станции и скважинного оборудования, калибровку скважинных приборов с сохранением параметров калибровки в базе данных калибровки, отображение ствола скважины, состояния скважинного прибора и подъемника, регистрацию данных геофизического исследования скважины и служебной информации в процессе каротажа.

3. АППАРАТУРА ДЛЯ ГЕОЛОГИЧЕСКОГО МОНИТОРИНГА

Комплект геофизической аппаратуры «ГЕОЛИТ», состоящий из автономных сейсмостанций и компьютеризированного устройства считывания с программным обеспечением, предназначен для изучения глубинного строения литосферы Земли.

Каждая сейсмостанция комплекта аппаратуры «ГЕОЛИТ» работает от собственного источника питания и одновременно регистрирует сейсмические сигналы с трех ортогональных направлений. Для регистрации сейсмосигналы преобразуются в цифровую форму 24-разрядным сигма-дельта АЦП. Общий амплитудный динамический диапазон преобразования сейсмосигналов составляет 140 дБ (мгновенный динамический диапазон 120 дБ), что позволяет одновременно регистрировать сейсмосигналы как сверхнизкого уровня (отражения из мантии и глубинных слоев земной коры), так и мощных сигналов, отраженных от верхних слоев земной коры.

Каждая сейсмостанция оснащена приемником типа GPS для привязки по координатам и времени с помощью спутников, а также имеется возможность подключения внешнего модуля памяти, что позволяет автономно регистрировать сейсмоданные на протяжении 30 сут.

Комплект уникальной аппаратуры «ГЕОЛИТ» имеет технические характеристики на уровне современных зарубежных аналогов.

Для выполнения малоглубинных сейсмических исследований предназначена портативная компьютеризированная инженерная сейсмостанция «ГЕОКОС-ПСС48». Эта 48-канальная станция оснащена мобильной ПЭВМ, имеет широкую полосу рабочих частот (3–4000 Гц) и динамический диапазон не менее 100 дБ с возможностью ступенчатого переключения уровня максимального регистрируемого сигнала. Она может с успехом использоваться при инженерно-геологических изысканиях, для контроля технического состояния и геолого-географического мониторинга шахтных полей, инженерных сооружений, а также для выполнения

сейсмоакустических исследований при поиске и разведке месторождений полезных ископаемых с глубиной от единиц до сотен метров при разрешающей способности от 20 см до 10 м.

Станция имеет малые габариты и вес, небольшое энергопотребление от встроенного автономного источника питания, возможность оперативного контроля качества записей и предварительной обработки.

ЛИТЕРАТУРА

1. Карпук В. В., Дзюбенко А. В., Белинский А. А. и др. // Стратегия развития нефтедобывающей промышленности Республики Беларусь на 2000–2015 годы: Материалы науч.-практ. конф. Гомель, 1999. С. 181.
2. Прокуров А. В., Романов А. Ф., Мухарский А. М. и др. // Геофизический вестник. 1999. № 4. С. 20.
3. Карпук В. В., Дзюбенко А. В., Романов А. Ф. и др. // Сб. науч. работ 6-й междунар. науч.-практ. конф., Ивано-Франковск, 2000 г. Ивано-Франковск, 2000. Т. 1. С. 269.