



Распределенная телеметрическая система регистрации сейсмических данных в реальном времени

Сагайдачная О.М., Сагайдачный А.В., Шмыков А.Н., ФГУП "СНИИГГИМС", г. Новосибирск

ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ

Современные телеметрические сейсмостанционные станции представляют собой совокупность большого числа (до десятка тысяч) сейсмических каналов, распределенных на значительной площади и объединенных системой телеуправления. Система телеуправления обеспечивает контроль состояния удаленных сейсмических каналов, а также сбор и регистрацию сейсмической информации в реальном времени. Требования регистрации сейсмических данных в реальном времени не является самоцелью, а есть необходимое условие обеспечения интерактивности процесса управления сложной системой для повышения эффективности производства полевых работ. Особенно важно контроль системы регистрации организовать в интерактивном режиме при работе с современными невзрывными (вибрационными и импульсными) источниками упругой энергии, технология использования которых предполагает выполнение оперативной обработки с оценкой качества полевого материала.

При построении пространственно распределенной многоканальной кабельной телеметрической системы регистрации в реальном времени основными проблемами являются:

- реализация с высокой пропускной способностью канала связи между сейсмическими каналами одного линейного фрагмента;
- организация с высокой пропускной способностью канала связи между линейными фрагментами системы;
- реализация высокопроизводительного канала связи между центральной станцией и специальным полевым оборудованием.

Трафик потока цифровой информации по кабельному каналу связи на линейном фрагменте, состоящем, например, из 600 24-х разрядных каналов, при интервале дискретизации 2 мс (или частоте квантования 500 Гц) оценочно превышает 7 200 000 бит/с, то есть достигает 8 Мбит в секунду. Надежная передача цифрового потока данных с таким трафиком может быть обеспечена только при использовании высококачественных линий связи, входящих в состав сейсмических кос, применения алгоритмов помехоустойчивого кодирования информации с корректировкой поврежденных данных (например, кодом Рида-Соломона), а также кодирования данных для оптимального использования полосы пропускания линии связи (например, кодом ПДВЗ).

Трафик цифрового потока данных между линейными фрагментами системы, если ограничиться 5000 сейсмических каналов, превышает $500 \cdot 24 \cdot 5000 = 60\,000\,000$ бит/с (60 Мбит/с). Надежная передача потока сейсмической информации в этом случае обеспечивается дополнительно к описанным выше решениям распараллеливание потока по нескольким линиям связи, входящим в состав одной сейсмической косы.

Реализация высокопроизводительного канала связи между всем полевым оборудованием и центральной станцией является наиболее сложной задачей. Если в качестве центральной станции используется РС-совместимый компьютер (в особом промышленном исполнении), то он

дополняется специальным интерфейсным контроллером для сбора потока информации трафиком, превышающим 260 Мбит/с. Отметим, что попытки построения подобных систем с применением известных внешних интерфейсов РС-совместимого компьютера (например, LPT, USB, Fire Ware) и промежуточным буфером памяти, как внутри интерфейсного контроллера, так и внутри блоков полевого оборудования, приводили к полной или частичной потере интерактивного режима работы телеметрической системы и, следовательно, к невозможности ее использования в технологическом процессе с невзрывными источниками возбуждения упругих колебаний. Кроме того, применение промежуточного буфера памяти ограничивает длительность сеанса регистрации сейсмической информации. Возможным, и на данный момент оптимальным решением задачи, является построение интерфейсного контроллера, как платы расширения формата PCI. Технические характеристики и функциональные возможности шины PCI, такие как: 32 битная разрядность, тактовая частота 33 МГц, многозадачность, реализованная на аппаратном уровне, позволяют выполнить пересылки данных от линии связи непосредственно в оперативную память управляющего компьютера. Рациональное использование высокоскоростных ресурсов процессора управляющего компьютера обеспечивает при соответствующей оптимизации вычислительных алгоритмов уровень его производительности, достаточный для выполнения в реальном времени оперативной обработки данных, в том числе фильтрации, накопления и визуализации, одновременно с их регистрацией.

Описанные выше проблемы были успешно решены при разработке отечественной многоканальной телеметрической сейсмостанции СТС-24Р (2001г.), обеспечивающей регистрацию в реальном времени до 1000 каналов без ограничения длительности физического сеанса наблюдения. Решения, апробированные при проектировании сейсмостанции СТС-24Р, получили свое развитие при разработке на новой элементной базе телеметрической системы следующего поколения РОСА, предназначенной для проведения многомерных сейсмических исследований с регистрацией данных нескольких тысяч каналов в реальном времени [1 - 3]. При построении телеметрической системы РОСА были разработаны элементы, которые позволяют выполнять сейсмические исследования размерности 2D, 3D, 4D с возможностью многокомпонентной регистрации упругих волн разных классов и различной поляризации.

Станция РОСА организована, как иерархическая структура, в состав которой входят (рис. 1):

- **центральная станция** для интерактивного телеуправления полевым оборудованием, обеспечивающим сбор, регистрацию, хранение, визуализацию и оперативный анализ сейсмической информации (элемент второго уровня иерархии);

- **линейные системы** наблюдения, объединенные скоростными магистралями;

- концентраторы линейных систем (элемент первого уровня иерархии).

- портативные телеуправляемые 4-х каналные регистраторы для приема и передачи сейсмической информации в реальном времени (элемент нулевого уровня иерархии).

Основное назначение концентратора заключается в организации очередности передачи пакетов данных, приходящих с различных направлений. Концентратор (hub или узел) собирает данные с двух линейных фрагментов станций, передает информацию в скоростную магистраль и ретранслирует на центральную станцию данные предыдущих узлов. Пакеты данных приходят на концентратор случайным образом и коммутируются на свободные передатчики. Если концентратор не имеет подключенных линейных фрагментов,



Рис. 1 Структурная схема многоканальной телеметрической сеймостанции РОСА

тов, то он выполняет функцию ретранслятора. Сложность организации работы концентратора определяется не ретрансляцией данных, а обеспечением очередности их передачи при условии, что количество приемных превышает количество передающих каналов. В этом случае пакеты данных, для которых не хватило свободных передатчиков, буферизуются в памяти и при освобождении каналов передачи передаются в магистраль.

Система телеметрии обеспечивает формирование двух цифровых потоков: нисходящего (команд управления) и восходящего (сейсмических данных). На рис. 2 показана общая схема потоков сейсмической информации в многоканальной кабельной телеметрической системе РОСА. Скорость потока нисходящего канала информации



Рис. 2 Структурная схема потоков управления и сейсмических данных в телеметрической системе РОСА

значительно ниже скорости восходящего потока данных. Канал управления выполняет передачу команд инициализации (настройки) и моментов синхронизации АЦП регистраторов с центральной станцией. Все регистраторы активной работы работают синхронно, временная стабильность и синфазность, работы которых достигаются через корреляционный прием поля синхронизации. Команды управления частотой синхронизованы через спутниковую систему GPS сигналами точного времени TPWS с погрешностью менее 90 нс.

В восходящем канале одновременно с сейсмическими данными передаются действующие настройки модулей и служебная информация, т.е. часть ресурсов восходящего потока используется для организации служебного канала мониторинга состояния регистраторов. Достоверность передачи данных обеспечивается применением контрольного, избыточного CRC кода. Для обеспечения гарантированной доставки команды синхронизации АЦП и переключения режимов работы регистраторов используются псевдослучайная двоичная последовательность и корреляционный прием. Кроме того, для исключения потери отчетов, контролируется их порядковый номер, и при обнаружении потери отчета программа обработки вычисляет интерполированное значение.

Быстродействие нисходящего канала особо не регламентируется, кроме требования выполнения одного условия: длительность посылки командного канала не должна превышать минимальный период квантования (0,125 мс). Пропускная способность канала управления составляет 2 Мбит/с.

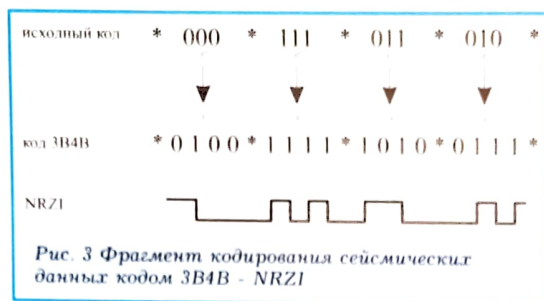
Значительно сложнее исполнен восходящий канал передачи данных. Для обеспечения возможно максимальной скорости передачи сейсмических данных для длины кабеля в широких пределах требуется применять более жесткие способы кодирования:

- код должен быть двухуровневым, обеспечивающим дешифрацию в широких пределах изменения уровня сигнала;
- код должен быть сбалансированным по постоянной составляющей с возможностью обеспечения гальванической развязки посредством трансформатора;
- результирующий сигнал должен занимать, возможно, минимальную полосу спектра в линии связи.

Экспериментально был определен надежный способ кодирования сейсмических данных: кодирование 3B4B с использованием модуляции типа NRZI без возвращения к нулю (рис. 3). Кодировка 3B4B увеличивает количество переходов первоначальной последовательности за счет замены исходных трех символов на новые четыре, что уменьшает постоянную составляющую передаваемого сигнала. Применение модуляции NRZI снижает требование к верхней границе спектра передаваемого сигнала, поскольку для передачи единицы требуется один переход сигнала в линии связи против двух в коде "Манчестер" [4]. Исходная тактовая частота восстанавливается из фронтов сигнала. Для достоверности восстановления границ полубайтов заголовков пакета организован в виде специальной синхропоследовательности, прием которой обеспечивается коррелятором.

Реализованная система фазовой автоподстройки частоты, способ кодирования и гальваническая трансформаторная развязка в каждом из устройств регистрации гарантируют высокую достоверность канала передачи данных по кабелю

ПРИБОРЫ И СИСТЕМЫ



связи в пределах $0 \text{ м} \pm 220 \text{ м}$. Реально достижимые скорости определяются протяженностью кабеля между соседними точками регенерации и могут составлять $8 \text{ Мбит/с} \pm 32 \text{ Мбит/с}$.

Далее приведем описание структуры передаваемых пакетов сейсмических данных. Пакет данных, представляющие собой некоторое множество цифровых слов, начинается и заканчивается паузой в линии связи. Выделение сигнала паузы в линии позволяет выполнить подготовку к приему очередного пакета данных и, в первую очередь, коррелятора заголовка. Пауза в линии связи заполняется несущей для обеспечения готовности системы фазовой автоподстройки частоты приемника через систему дешифрации. Пакет данных состоит из непрерывно следующих заголовка, набора слов служебных и данных. Заголовки восходящего и нисходящего каналов различаются, поскольку различаются и системы кодирования, но не меняются при переходе из магистрали в линию и обратно. Адресация в пакетах счетная и, следовательно, при прохождении каждой регенерации адрес изменяется: магистральный в концентраторах, линейный в регистраторах. Подобная схема адресации исключает процедуру присвоения адресов и обладает некоторой универсальностью. Слова в пакетах имеют сходную структуру: указатель типа слова, поле данных, поле проверки на наличие ошибки. Служебные слова разделяются на адресные и слова состояния. Адресные слова разделяются на магистральный и линейный адреса. Пакеты могут иметь различную длину, но структура начала пакета всегда однозначно определена. Порядковый номер слова после заголовка используется при его дешифрации. Служебный поток выделяется из общего потока данных на центральной станции по указателю типа слова.

Распределенная многоканальная телеметрическая система регистрации функционирует в двух режимах: настройки и регистрации сейсмических данных. Режим работы системы определяется типом заголовка нисходящего канала. В режиме настройки период обмена пакетами равен максимально возможному 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.

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 паразитных сигналов, генератора белого

шума нормированной мощности, эквивалента нагрузки. Внутренние датчики измерения температуры, влажности, напряжений и тока, независимо от рабочего режима передают информацию на центральную станцию с периодом опроса. 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. Собранная 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.

Таким образом, при разработке сейсморазведочной станции РОСА была успешно решена основная проблема, стоящая перед авторами, - создание распределенной телеметрической системы регистрации данных в реальном времени, обеспечивающей достаточную интерактивность технологического процесса выполнения сейсмических работ. При решении этой задачи были использованы новые оригинальные идеи и схемотехнические построения, современные достижения в области микроэлектроники и телекоммуникаций, а также алгоритмы и способы, апробированные при промышленной эксплуатации сейсмостанции СТС-24Р. Разработанная телеметрическая система сбора и регистрации сейсмических данных в реальном времени 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 многомерных сейсморазведочных работ с применением невзрывных, в том числе вибрационных, источников возбуждения упругих колебаний.

Литература

1. Васильев В.П., Шмыков А.Н., Сагайдачный А.В. и др. Способ сбора сейсмических данных и устройство для его осуществления. Патент РФ №2189615, Б.И., 2002, 26.
2. 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. Патент РФ №2207719, Б.И., 2003, 18.
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, 02(04).
4. Убайдуллаев Р.Р. Волоконно-оптические сети // Инженерная энциклопедия: Технологии Электронных Коммуникаций. М.: Наука, 1998.

Прогнозирование залежей УВ по результатам сейсмического мониторинга на примере Ван-Еганского месторождения (мезозойские отложения)

Кирилов С.И., Невидимова А.Ф., СП "Ваньеганнефть", г. Нижневартовск
Копунов С.Э., Хортов А.В., ООО "Гео Дэйта Консалтинг", г. Москва

Задача динамического анализа сейсмической информации в разрезе мезозойских отложений сводилась к следующему:

- 1) изучению структурно-тектонических особенностей района исследования;
- 2) определению зон с различными физическими и литологическими свойствами;
- 3) выявлению наиболее перспективных в нефтегазоносном отношении интервалов осадочного чехла и локальных структурных ловушек [1-3].

ДФМ-технология представляет собой набор процедур анализа сейсмических атрибутов, позволяющую производить относительную оценку аномальных давлений в системе "твердая матрица-флюид". Информация об аномальных давлениях (АД) в системе (при этом под АД понимается давление отличное от некоторого среднего), определенных на произвольной базе, содержится в коэффициентах отражения упругой волны и фиксируется по их изменчивости от точки к точке. То есть, изменчивость коэффициента отражения по некоторому отражателю есть относительная мера градиента аномального давления в геологическом теле, к границе которого, по тем или иным причинам, приурочен сейсмический отражающий горизонт. Оценка относительных значений градиента аномального давления может быть осуществлена как по отдельному отражающему горизонту после процедуры его корреляции, так и по произвольному интервалу. Интервальные оценки в большей степени соответствуют пространственным особенностям распределения давлений в пределах блоков с различной геодинамической активностью. В данном подходе, наиболее благоприятной областью для скопления флюида считается область пониженных общих давлений (область разгрузки обладает всасывающим эффектом) и ее непосредственная близость этой области к границе блоков с различной активностью, обеспечивающей вертикальную миграцию флюидов из нижних этажей к верхним [3].

Физической основой алгоритма обработки по методу ДФМ является зависимость коэффициента отражения для волны, падающей под углом θ от других компонент импеданса [4]:

$$R_c(\theta) = R_n \cos^2 \theta + R_s \sin^2 \theta$$

При этом для значений углов падения волны порядка 45 градусов, вклады "жесткостной" R_n и "пуассоновской" R_s долей в коэффициент отражения θ примерно равны. Атрибуты сигнала отраженной волны (мгновенные амплитуда и частота) зависят от плотности (упругих модулей), т.е. от свойств среды и литологии. При этом коэффициент пуассоновской отражательной способности сам имеет поисковое значение (Писенский В.Б., 1998).

Сейсмогеологическая характеристика осадочного чехла базируется на материалах МОИТ 3Д, выполненных в 1995 году (северная часть) и с перекрытием в 2000-2002 годах (центральная и южная части), а также данных ВСП и АК, по скважинам Ван-Еганского месторождения и прилегающих площадей. В целом сейсмогеология района характеризуется благоприятными глубинными и сложными поверхностными условиями. Речная сеть, невыдержанный состав ВЧР, частое изменение глубины залегания водоносного горизонта, развитие участков вечной мерзлоты, болот и песчаных грив отрица-

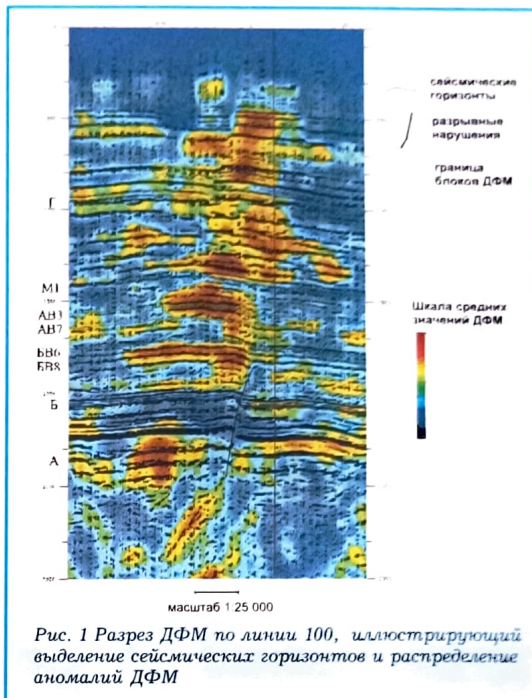


Рис. 1 Разрез ДФМ по линии 100, иллюстрирующий выделение сейсмических горизонтов и распределение аномалий ДФМ

тельно влияло на условия возбуждения и приема, что сказалось на качестве полевого материала.

Приведенный на рис. 1 ДФМ-разрез представляет собой оценку общего давления в каждом дискрете исходной трассы, которая цветовым растром накладывается на обычное изображение временного разреза (расположение профиля: рис. 2). Красно-желтые тона означают состояние разгрузки (пониженное общее давление, относительно нормального литостатического давления), синезеленые тона отражают нормальное или повышенное сжатие.

Нижнемеловые отложения Широного Приобья (пласты групп А и Б) представляют собой глинисто-песчаную толщу преимущественно прибрежно-морского генезиса. Мощность песчаных нефтеносных пластов в пределах месторождения в среднем колеблется от 30 до 60 м. Эффективные и эффективные нефтенасыщенные толщины по ряду пластов достигают 20 м. Выдержанность литологических тел в этой части разреза значительно выше по сравнению с другими интервалами осадочного чехла. В полном поле данная толща представлена в виде динамически неустойчивых отражений, кинематическая и динамическая интерпретация которых в отдельных случаях затруднительна и не всегда однозначна. Поле средних значений ДФМ для интервала нижнемеловых отложений характеризуется единой динамически выраженной аномалией, которая в плане соответствующей сводовой части Ван-Еганского поднятия и в целом хорошо согласуется со всеми контурами полей нефтегазоносности пластов АЗ-7 и БВ3-8.

В качестве примера в настоящей работе нами приведены результаты расчетов поля ДФМ для временного интервала пласта БВ6, в 20 миллисекундном окне (рис. 2). Характер распределения поля ДФМ в пределах указанного интервала, в целом близок пластам группы "Б", в которых