

ЦИФРОВАЯ ГЕОФИЗИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ

Пьер Андрие, Александр Валющев, Роман Гезиков, Вячеслав Козлов,
Андрей Титов, Эдуард Файнберг

Описана цифровая геофизическая станция Land Explorer, разработанная в рамках международного проекта INTAS для предсказания землетрясений.

Назначение

Цифровая геофизическая станция Land Explorer (далее – станция LE, или просто станция) предназначена для долговременных (недели и месяцы) измерений геофизических полей. В базовом варианте измеряются электромагнитные и сейсмические поля естественного происхождения. Целью измерений является решение двух основных задач: региональных работ по изучению глубинного строения Земли и мониторинга тектонических процессов с целью предсказания природных катастроф (землетрясений, извержений вулканов и др.).

До сих пор сейсмологические и магнитотеллурические региональные исследования выполнялись независимо друг от друга, что вызывало трудности совместной интерпретации данных и приводило к удорожанию работ (отдельная аппаратура, отдельные отряды и т. д.). Станция позволяет выполнять такие работы совместно.

Несмотря на очевидную необходимость совместного сейсмического (сейсмологического) и электромагнитного мониторинга тектонических процессов, позволяющего решать задачи происхождения, трансформации полей

и локализации их источников, таких измерений до сих пор не проводится, что обусловлено отсутствием подходящей аппаратуры. Предлагаемая станция позволяет решить и эту задачу.

Основные параметры

Часть аппаратуры станции, предназначенная для работы с одним аналоговым сигналом, называется каналом. Станция содержит каналы двух видов:

- высокочастотные с рабочей полосой частот 0,1...30 Гц (ВЧ);
- низкочастотные с рабочей полосой частот 10^{-5} ... 10^{-1} Гц (НЧ).

Частота оцифровки сигналов каналов ВЧ – 128 Гц, каналов НЧ – 4 Гц. Разрядность оцифровки – 16 бит для каналов ВЧ и 24 бита для каналов НЧ. В состав станции LE (базовая конфигурация) входят 8 каналов ВЧ и 5 каналов НЧ, в том числе:

- 3 канала ВЧ для работы с трехкомпонентным сейсмодатчиком;
- 3 канала ВЧ для измерения 3 ортогональных компонентов магнитного поля Земли;
- 3 канала НЧ аналогичного назначения;
- 2 канала ВЧ и 2 канала НЧ для измерения теллурических потенциалов.

Станция имеет два основных режима работы – автономный и стационарный.

В автономном режиме станция после развертывания на местности должна продолжать функционировать автоматически, без вмешательства оператора, не менее 10 дней. Основными параметрами, ограничивающими продолжительность автономного функционирования, являются емкость аккумуляторных батарей и объем жесткого диска, на который производится запись информации. Последнее ограничение приводит к необходимости записывать на диск не все собираемые данные, а только так называемые события, длительность которых сравнительно мала.

Там, где есть возможность периодического обслуживания станции и запитки ее от электросети, LE может работать в стационарном режиме. В этом режиме информация, поставляемая датчиками, записывается на диск непрерывно и в полном объеме; длительность записи не ограничена. Обслуживание станции сводится к ежедневной замене накопителя на ЖМД, причем замена накопителя не прерывает процесс сбора данных.

Рассогласование по времени моментов выборки сигналов для всех каналов станции не превышает 1 мс. Кроме того,

имеется возможность привязки (с той же точностью) моментов выборки к абсолютному мировому времени с использованием спутникового приемника. Это позволяет обеспечить синхронную работу нескольких станций, расположенных в разных районах Земли.

Перед записью на диск сигналы от датчиков подвергаются аналоговой и цифровой фильтрации. Ее цель – адекватное представление сигналов рабочей полосы частот на данной частоте выборки (подавление эффекта наложения частот, или элайзинга).

Аппаратные средства геофизической станции

Станция LE (рис. 1) состоит из следующих блоков:

- **периферийных контроллеров сбора данных (ПКС)**, устанавливаемых вблизи от соответствующих датчиков. Питание каждого ПКС производится от индивидуальной аккумуляторной батареи (АБ);
- **узловой станции (УС)**, производящей сбор данных и управление ПКС по цифровой линии связи. Питание УС может осуществляться как от АБ, так и от электросети 220 В, 50 Гц;
- **антенны спутникового приемника GPS**.

Для инициализации ПКС и запуска станции в целом к УС может подключаться терминал (Notebook PC).

Длина кабелей связи К1 – до 50 м, К2 – до 1000 м (в стационарном режиме требуется удаление датчиков станции от мест проживания людей на значительное расстояние).

Все ПКС подключаются к линии связи параллельно, для чего на каждом из них расположены два разъема, обеспечивающие удобное подключение кабельных сегментов.

Периферийные контроллеры сбора данных

- В состав каждого ПКС (рис. 2) входят:
- **3 аналоговых канала** (за исключением теллурического ПКС, имеющего 4 канала), состоящих из малошумящего предварительного усилителя (ПУ) с регулируемым коэффициентом усиления, фильтра-режектора наводок со стороны промышленной электросети 50 Гц (только в каналах ВЧ) и аналогового антиэлайзингового фильтра;
 - **четырёхканальный сигма-дельта АЦП**, работающий с частотой выборки 2048 Гц (AD 7716 фирмы Analog Devices);
 - **цифровой сигнальный процессор, ЦСП** (ADSP2115 той же фирмы),

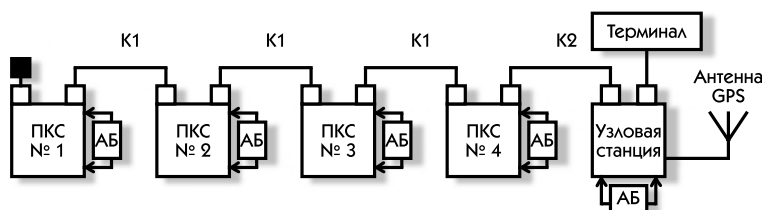


Рис. 1. Структура геофизической станции
ПКС – периферийные контроллеры сбора данных,
АБ – аккумуляторные батареи,
К1, К2 – кабели связи

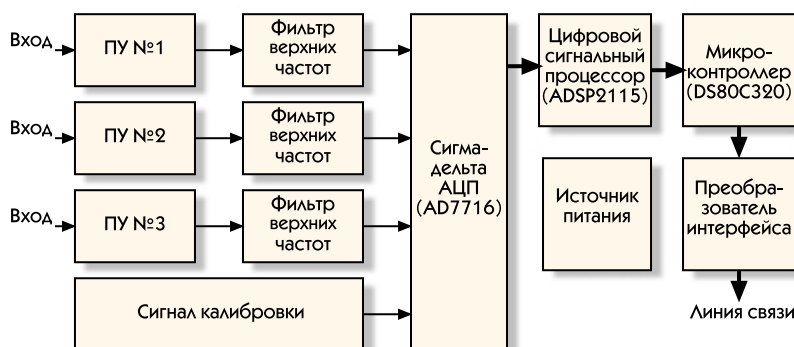


Рис. 2. Структура периферийных контроллеров сбора данных
ПУ – предварительный усилитель,
ФВЧ – фильтр верхних частот,
ЦСП – цифровой сигнальный процессор,
МК – микроконтроллер управления и связи

реализующий цифровую часть антиэлайзингового фильтра с понижением частоты выборок до необходимого значения. Кроме того, ЦСП обеспечивает синхронизацию работы каналов;

- **микроконтроллер управления и связи с линией, МК** (DS80C320 фирмы Dallas Semiconductor);
- **преобразователь интерфейса линии связи, ПИ**;
- **многоканальный источник питания, ИП**.

Линия связи – гальванически изолированная двухпроводная (стале-медный полевой кабель); скорость передачи – 62,5 кбод.

Исходя из специфики эксплуатации геофизических приборов, работающих на пределе чувствительности, заказчиком было поставлено условие: гальваническая изоляция линии связи должна достигаться без использования трансформаторов, а только при помощи оптопар с минимальной проходной емкостью. Это требование заказчика, а также стремление снизить электропотребление станции исключили возможность использования какой-либо стандартной промышленной шины класса Fieldbus. В шине, разработанной специально для этого проекта, по линии передаются как информационные посылки, так и напряжение питания приемопередатчиков ПКС. Линия запитывается от узловой станции.

Данные с выхода ЦСП группируются в пакеты и передаются по линии связи в УС. Помимо передачи данных, линия используется для передачи команд управления работой ПКС.

Для синхронизации работы всех подключенных к линии связи ПКС узловая станция периодически, через каждые 2 секунды, выдает в линию команду синхронизации. Исполнителем команды является ЦСП, подсчитывающий число выборок АЦП между двумя командами синхронизации. Это число поддерживается равным 4096.

Узловая станция

Структура узловой станции, показанная на рис. 3, была выбрана, исходя из следующих соображений.

В автономном режиме работы станции для сокращения объема записи данные обрабатываются в режиме реального времени и по некоторым критериям определяется необходимость сохранения данных, содержащих так называемые события. Для этого основной контроллер узловой станции должен обеспечить достаточную вычислительную мощность. Кроме того, необхо-

димом, чтобы контроллер имел средства для работы с приемником GPS, позволяя выполнять «горячую» смену жесткого диска (например PCMCIA) и работал под управлением операционной системы, файловая структура которой совместима с файловой структурой MS-DOS (это важно для удобства дальнейшей обработки данных).

Всем этим требованиям вполне удовлетворяет контроллер MicroPC 4000 фирмы Octagon Systems на базе процессора 386SX-25 совместно с картой PCMCIA.

Однако энергопотребление MicroPC довольно велико (около 6 Вт вместе с накопителем), в то же время скорость записи данных на диск в несколько раз больше скорости поступления данных от сети ПКС. Поэтому был разработан специальный контроллер узловой станции (КУС) с мощностью потребления около 0,3 Вт, на который были возложены функции управления сетью ПКС, буферизации данных и управления питанием MicroPC. При накоплении в оперативной памяти КУС достаточного объема данных (256 кбайт... 384 кбайт) КУС включает питание MicroPC и передает данные, используя механизм прямого доступа к памяти (ПДП). В MicroPC эти данные могут быть обработаны или просто записаны на жесткий диск без обработки. После записи данных на диск MicroPC выключается.

Таким образом, в автономном режиме работы станции MicroPC включается только на время записи очередной порции данных на диск. Данное техническое решение позволило сократить среднюю мощность потребления MicroPC примерно до 1,5 Вт.

В составе КУС также имеются часы, использующиеся для выработки команд синхронизации. Коррекция хода этих часов производится примерно один раз через каждые 10 минут по секундным импульсам с выхода

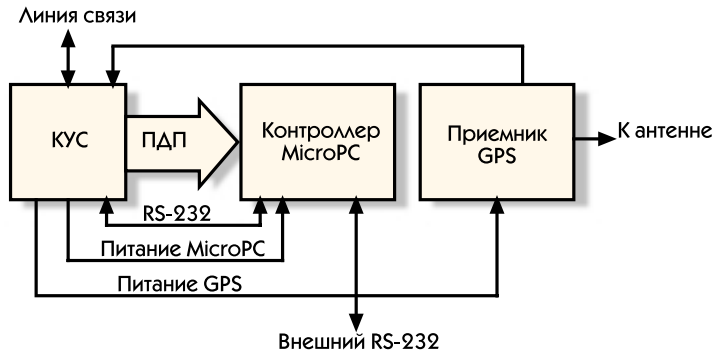


Рис. 3. Структура узловой станции
КУС — контроллер узловой станции
ПДП — канал прямого доступа к памяти

приемника GPS. Процедура коррекции длится около 1,5 минут, включая время инициализации приемника GPS. Для снижения энергопотребления питание на приемник GPS подается только при выполнении процедуры коррекции.

Программное обеспечение и особенности эксплуатации

При разработке программного обеспечения системы наиболее ценным качеством MicroPC была полная совмести-

мость с IBM PC.

Макет КУС подключался к обычному компьютеру – и отладка программного обеспечения не представляла особых сложностей. После переноса разработанной программы на флэш-диск MicroPC не возникло никаких проблем. Разработка программного обеспечения велась на языке C с использованием пакета Borland C++ 3.1.

При эксплуатации системы выявились следующие особенности. Загрузка операционной системы с EPROM-диска, защищенного от записи, существенно повышает надежность системы. Однако в процессе загрузки драйверов PCMCIA и инициализации жесткого диска все-таки возможны ошибки. В результате опытной эксплуатации было зафиксировано, что в течение 12 часов (примерно 360 включений/выключений) происходит в среднем одна ошибка при инициализации жесткого диска. Возможно, это не проблема при использовании диска в Notebook, но в данном случае требуется перезагрузка MicroPC. Перезагрузка выполняется по сигналу аппаратного сброса MicroPC, формируемого КУС. Решение о необходимости перезагрузки MicroPC принимается КУС по результатам сеанса связи по интерфейсу RS-232.

Заключение

В настоящее время закончены лабораторные и часть полевых испытаний двух опытных образцов станции LE, подтвердившие правильность основных технических решений. В то же время результаты испытаний показали, что возможности станции не ограничены предсказанием землетрясений и она с успехом может быть использована во многих областях геологии и геофизики.

Авторы выражают благодарность Барсукову П.О., Зубкову Б.В., Ключкину В.Н. за полезные обсуждения при разработке станции а также Клерку Ж. (Clerc G.) за помощь в тестировании станции.

Разработка станции выполнена при финансовой поддержке фонда INTAS, проект 94-1304.●



Внешний вид узловой станции



Общий вид станции