

## ПРИБОРЫ, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ В ЛАБОРАТОРИЯХ

УДК 621.396.6.001.63+621.396.001.66

### АВТОНОМНЫЙ РЕГИСТРАТОР ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ И АКУСТИЧЕСКИХ СИГНАЛОВ ДЛЯ МОНИТОРИНГА ШАХТНЫХ СООРУЖЕНИЙ

© 2013 г. А. А. Бомбизов, А. А. Беспалько\*, А. Г. Лоцилов

Поступила в редакцию 13.02.2012 г.  
После доработки 02.05.2012 г.

DOI: 10.7868/S0032816213010187

При проведении геофизических исследований особый интерес представляют измерения электромагнитных (э.м.) сигналов, возникающих при изменении напряженно-деформированного состояния горных пород. Изучая пространственную структуру э.м.-поля и амплитуду его спектральных составляющих, можно оценить прочность и несущую способность пород, что, как ожидается, поможет при прогнозе землетрясений [1]. Преимущество данного прибора по сравнению с известными из рекламы – это возможность длительной записи в цифровом формате спектрограмм сигналов с высоким разрешением по частоте в реальном масштабе времени.

Структурная схема прибора представлена на рисунке.

Аналоговый блок состоит из электромагнитного и акустического каналов. Для регистрации электрической составляющей э.м.-поля используется емкостный датчик, выполненный в виде двух параллельных друг другу металлических пластин площадью 150 см<sup>2</sup>, расположенных на расстоянии 1.5 см. Магнитная составляющая регистрируется индукционным датчиком, который представляет собой катушку индуктивности на стержневом ферромагнитном сердечнике [2]. Конструктивно индукционный датчик исполнен так, чтобы входить в шпур диаметром 42 мм, пробуренный в бортах проходок рудника или шахты.

Сигналы с датчиков поступают на инструментальный двухкаскадный усилитель на основе микросхемы AD8626. Первый каскад установлен внутри корпуса датчика. С его выхода сигнал передается по витой паре на второй каскад, размещенный в корпусе прибора. Далее сигналы через фильтры Баттерворта шестого порядка верхней и нижней частот (частоты среза 1 и 100 кГц) поступают на аналого-цифровой преобразователь (а.ц.п.) AD7951. Частота дискретизации 1 МГц.

Для регистрации акустических сигналов используется пьезодатчик [3]. Механический контакт с массивом породы обеспечивает конусный накопчик из закаленной стали. Частотные фильтры акустического канала аналогичны фильтрам электромагнитного, после которых энергия сигнала накапливается на интеграторе с постоянной времени 6.3 мс. А.ц.п. обеспечивает преобразование амплитуды в цифровой код с периодом 10 мс, после чего выполняется сброс интегратора посредством ключа ADG429.

Цифровой сигнальный процессор регистратора выполнен на микросхеме ADSP-BF537 с тактовой частотой ядра 500 МГц. В его состав входит о.з.у. на двух микросхемах MT48LC32M8A2 емкостью по 32 МБ каждая. Для загрузки программного обеспечения установлено п.з.у. M29W320DT емкостью 4 МБ. В процессоре установлена операционная система uCLinux, а программное обеспечение разработано при помощи компилятора gcc.

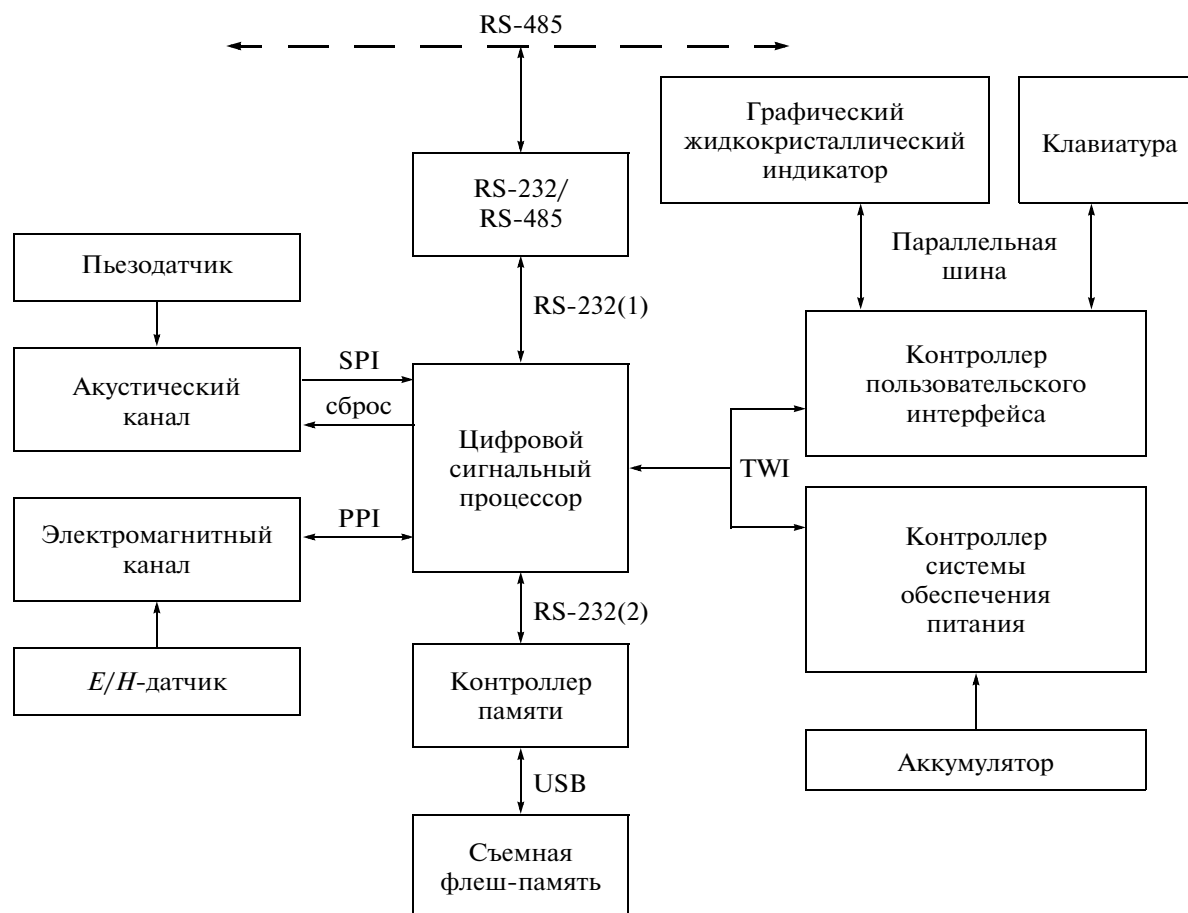
Пользовательский интерфейс для оперативного управления прибором обеспечивается жидкокристаллическим индикатором FDCG240128B-1 и пленочной клавиатурой, выполненной в виде матрицы 3 × 4. Данные устройства ввода-вывода управляются микроконтроллером пользовательского интерфейса AT91SAM7S256.

Сохранение информации на съемном флэш-носителе выполняется контроллером памяти VNC1L фирмы FTDI, в котором реализованы алгоритмы работы с файловой системой FAT32. Это позволяет осуществлять высокоуровневое взаимодействие: создание файла, чтение и запись в него информации и т.д.

Интерфейс RS-485 позволяет соединить несколько приборов в распределенную сеть для анализа и установления корреляционных связей при пространственной обработке электромагнитных и акустических сигналов.

Прибор питается от аккумулятора 16–24 В. В модуле питания размещены 3 стабилизатора

\* Томский политехнический университет.



Структурная схема прибора.

фирмы AIMTEC с выходными напряжениями 3,3, 5 В для цифровой части прибора и  $\pm 15$  В для аналоговой части. Суммарная потребляемая мощность 3 Вт. Контроль питания осуществляется микроконтроллером Atmega8L.

Регистратор размещен в ударопрочном кейсе.

Одной из основных функций прибора является разложение э.м.-сигнала на гармонические составляющие с использованием быстрого преобразования Фурье. Обработка данных с э.м.-канала ведется окнами по 1024 отсчета. Для устранения эффекта Гиббса на первом этапе обработки данных входной сигнал взвешивается окном Кайзера с коэффициентом  $\beta = 9$  [4]. Окно Кайзера подавляет боковые лепестки в спектре сигнала до  $-70$  дБ от уровня главного лепестка и обладает широким динамическим диапазоном. После быстрого оконного преобразования Фурье на выходе прибора происходит регистрация спектрограмм с шагом по частоте 1 кГц и временем обновления 1 мс. Результирующие спектральные характеристики, усредненные методом скользящего среднего 16-ти по-

следовательно полученных спектрограмм, записываются во флэш-память.

Помимо спектрального анализа, в приборе реализованы алгоритмы расчета средних значений амплитуды всех спектральных составляющих сигнала. Это преобразование выполняется с целью выявления корреляционных связей с сигналами акустического канала.

**Основные технические характеристики прибора.** Диапазон частот анализа сигналов 1–100 кГц; чувствительность э.м.-канала 2 мкВ, акустического – 5 мВ; динамический диапазон 60 дБ; тип фильтрации – быстрое преобразование Фурье; период обновления спектральных характеристик 16 мс; шаг по частоте 1 кГц; полосы фильтров 3 кГц по уровню  $-3$  дБ; коэффициент прямоугольности фильтров по уровням  $-3$  дБ и  $-30$  дБ составляет 0,3; емкость аккумуляторных батарей 16 А · ч. Время автономной работы  $\geq 3$  сут; масса прибора в комплекте с аккумуляторной батареей  $\leq 8$  кг.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Беспалько А.А., Яворович Л.В. // Сб. докл. Международной конференции “Солнечно-земные связи и электромагнитные предвестники землетрясений”. Петропавловск-Камчатский: ИКИР ДВО РАН, 2004. С. 160.
2. Максименко В.Г. // Радиотехника. 2009. № 8. С. 44.
3. Королев М.В. // Дефектоскопия. 1973. № 4. С. 12.
4. Сергиенко А.Б. Цифровая обработка сигналов: Учебник для вузов. 2-е изд. СПб.: Питер, 2006.

*Адрес для справок: Россия, 634050, Томск, просп. Ленина, 40, лаб. 109/2; Томский государственный университет систем управления и электроники; тел. (3822)253360. E-mail: unclerlab@gmail.com*