

РАЗРАБОТКА И СОЗДАНИЕ ПРОГРАММНОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ МОНИТОРИНГОВОЙ СИСТЕМЫ MAC1

Б. А. Искаков*, Е. М. Таутаев*, Т. Х. Садыков**, А. Л. Щепетов***, Н. М. Салифов****

*Казахский национальный университет имени аль-Фараби,
г. Алматы, Республика Казахстан

**Сатпаев Университет, Физико-Технический Институт,
г. Алматы, Республика Казахстан

***ФИАН России имени П. Н. Лебедева, г. Москва, Российская Федерация

****Институт Ионосферы, г. Алматы, Республика Казахстан

Аннотация: специальная система акустических детекторов создана для поиска возможных корреляций между широкими атмосферными ливнями и сигналом упругих колебаний из глубины земной коры. Система предназначена для совместной синхронной работы с ливневой установкой.

Ключевые слова: микрофон, детектор, сигналы, акустика, микросхемы

DEVELOPMENT AND CREATION OF A SOFTWARE COMPLEX FOR THE MONITORING SYSTEM MAC1

B. Iskakov*, Y. Tautayev*, T. Sadykov**, A. Shepetov***, N. Salikhov****

* Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Republic of Kazakhstan

** Satpayev University, Institute of Physics and Technology, Almaty, Republic of Kazakhstan

*** P.N. Lebedev PhI RAS, Moscow, Russian Federation

**** Institute of Ionosphere, Almaty, Republic of Kazakhstan

Abstract: a special system of acoustic detectors is designed to search for possible correlations between wide air showers and the signal of elastic oscillations from the depths of the earth's crust. The system is designed for simultaneous joint work with a stormwater installation.

Keywords: microphone, detector, signals, acoustics, microcircuits

Высокочувствительный микрофон с чувствительностью 20 мВ/Па в акустическом диапазоне частот 500-1000 Гц размещается на глубине 200 м от поверхности земли внутри скважины, пробуренной в скальном грунте. Расстояние между скважиной и системой ливневых детекторов составляет примерно 200м. Схема электронной аппаратуры которая обеспечивает регистрацию показана на рис. 1. Передача электрических сигналов от микрофона из глубины скважины производится по образованной витой парой проводов кабельной линии через посредство трансформаторной развязки, при этом микрофон и служащий для передачи сигнала промежуточный малогабаритный трансформатор представляют собой единый конструктивный блок, который целиком опускается в скважину. Постоянное напряжение $\pm 3\text{В}$ для питания микрофона вырабатывается независимым источником питания, который построен на основе отдельного трансформатора с незаземленной вторичной обмоткой и не имеет непо-

средственного электрического контакта ни с остальной частью электронной схемы, ни с силовыми линиями внешней электрической сети. От источника питания к микрофону это напряжение подается по второй паре витых проводов. Таким образом, микрофонный узел измерительной системы оказывается электрически изолированным от всех общих линий заземления и подвода питания к электронным схемам, на которых могут присутствовать значительные электромагнитные наводки и шумы, в частности, синусоидальная помеха с частотой 50 Гц от внешней сети переменного тока.

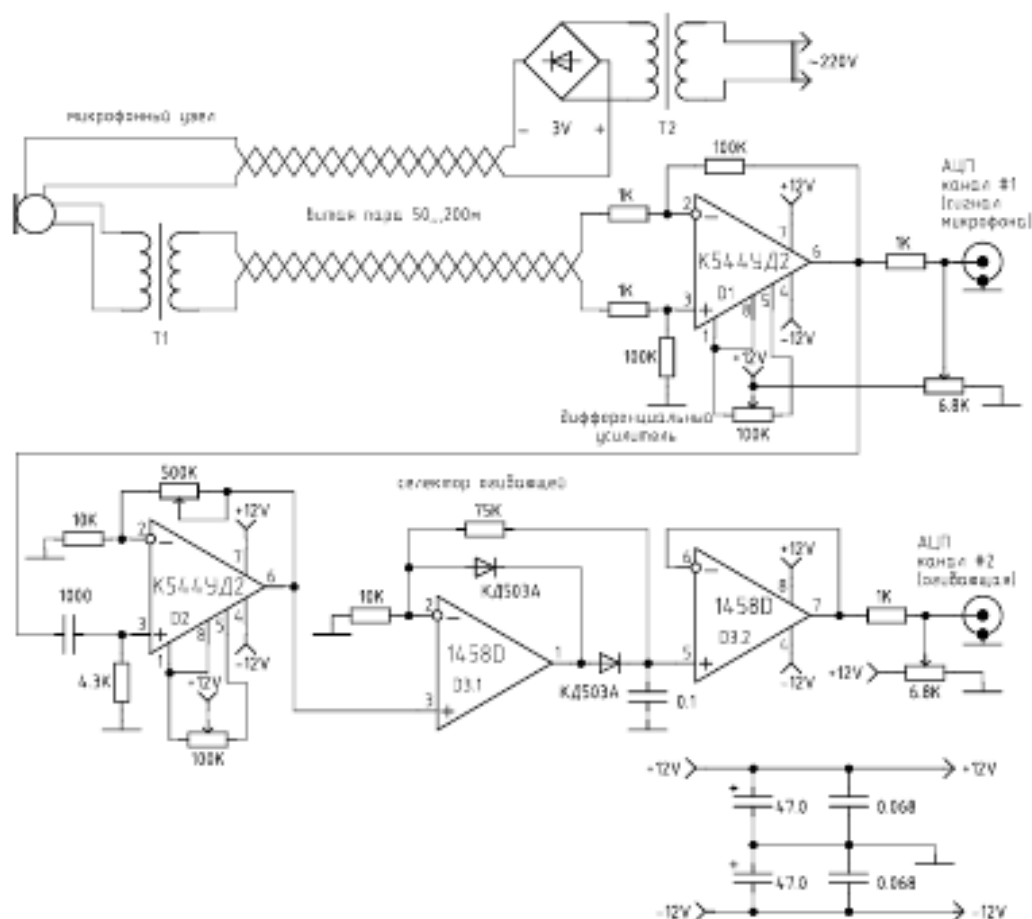


Рисунок 1 – Схема подключения микрофона в акустическом детекторе

Регистрация сигналов акустического детектора производится в специальном помещении, которое располагается непосредственно у верхнего края скважины и в котором размещаются остальные узлы формирующей сигнал аппаратуры: дифференциальный усилитель и селектор низкочастотной огибающей микрофонного сигнала. Дифференциальный усилитель (элемент *D1* на рисунке 1) обеспечивает ~ 100 кратное усиление полезного сигнала с одновременным подавлением синфазных помех, которые возникают на длинной линии связи. Коэффициент подавления синфазного сигнала усилителем данного типа составляет ~ 70 дБ. На выходе дифференциального усилителя формируются биполярные сигналы синусоидальной формы, принадлежащие к акустическому диапазону ($\sim 10^2 - 10^4$ Гц) и готовые для оцифровки посредством системы АЦП.

Построенный на операционных усилителях D2 и D3 селектор низких частот служит для выделения модулирующей амплитуды акустического сигнала низкочастотной огибающей, которая выдается для регистрации по отдельному каналу АЦП.

Для регистрации сигналов акустического детектора была разработана специальная малогабаритная система АЦП с малым энергопотреблением, которая размещается вместе со схемами формирования непосредственно у верхнего края скважины. Основу системы АЦП образует одноплатный компьютер Raspberry PiB+ на микропроцессоре типа Broadcom BCM2835 с тактовой частотой 700 МГц. Этот компьютер, через посредство линий встроенного в него цифрового порта ввода-вывода общего назначения, управляет двумя элементами АЦП микросхемами типа AD7887 производства фирмы Analog Devices. Необходимые для работы микросхем тактовые последовательности *C* (clock) и *CS* вырабатываются микропроцессором компьютера, работающим под управлением специальной программы-драйвера; эта же программа принимает результаты преобразования входных сигналов, которые поступают с выходов *DO* микросхем АЦП в виде последовательного двоичного кода и преобразует их в двоичные байты данных. Принципиальная схема подключения элементов АЦП к микрокомпьютеру Raspberry PiB+ показана на рис. 2.

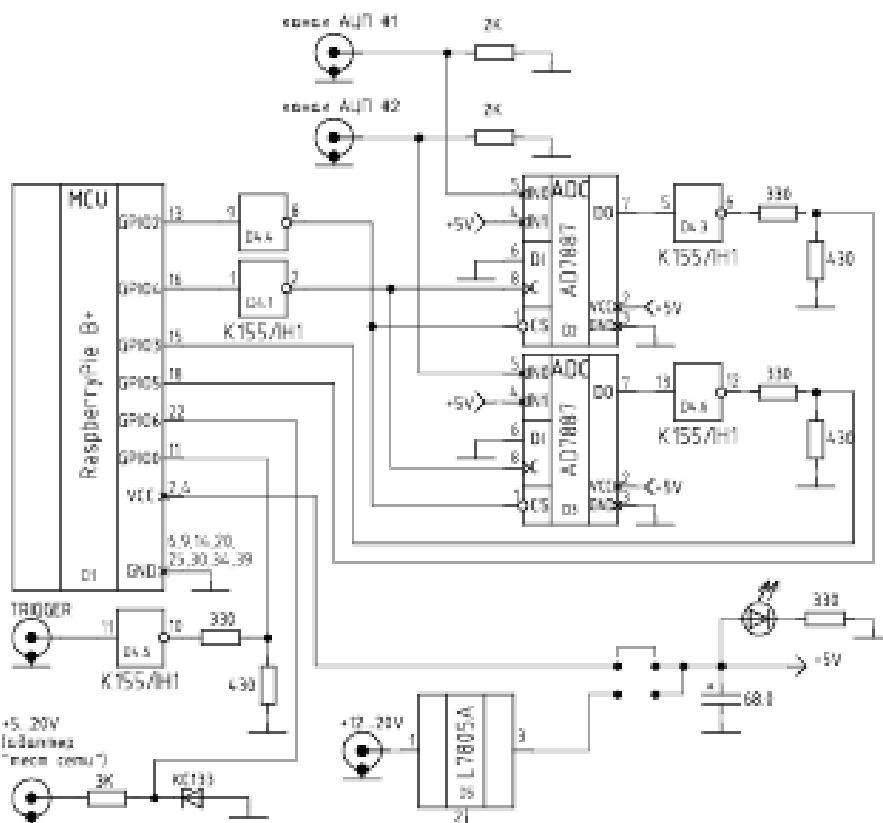


Рисунок 2 – Малогабаритная система АЦП

Сигналы микросхем АЦП подключаются к выводам порта *GPIO* микрокомпьютера через посредство буферных элементов ТТЛ-логики, входящих

в состав микросхемы K155ЛН1 и через резистивные делители, которые необходимы для согласования уровня логических сигналов со стороны микропроцессора с уровнем микросхем АД7887. Запись входных аналоговых сигналов по двум информационным каналам малогабаритной системы АЦП производится непрерывно с периодом 2 мс, а полученные в результате измерений данные накапливаются для последующего on-line анализа в файле на локальном диске, который подключается к микрокомпьютеру Raspberry PiB+ посредством встроенного в него интерфейса USB.

Структурная схема программного комплекса, который применяется для регистрации данных акустического детектора, показана на рис. 3.

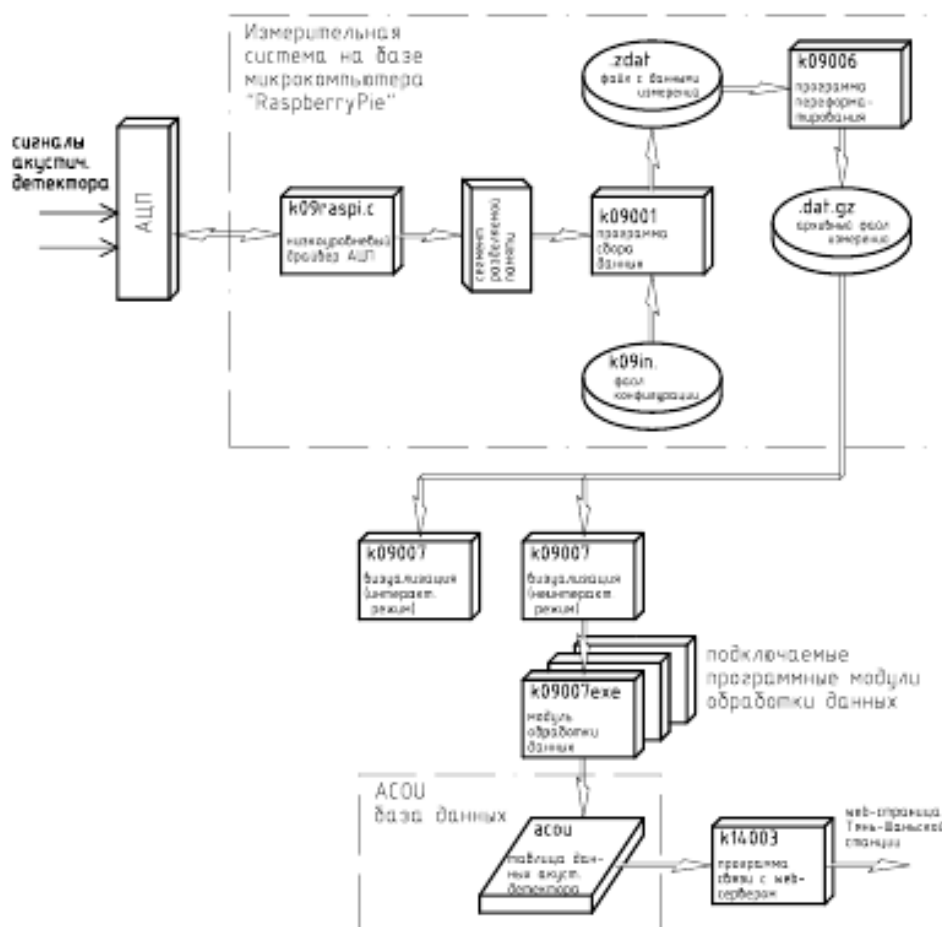


Рисунок 3 – Структурная схема программного комплекса для мониторинговой системы

Как видно на этой схеме, непосредственно с аппаратурой регистрами встроенного в микрокомпьютер Raspberry PiB+ параллельного порта ввода-вывода, к линиям которого подключены управляющие сигналы микросхем АЦП, взаимодействует программа-драйвер *k09raspi.c*. Эта программа написана на компилируемом языке программирования *C* и отвечает за формирование, с соблюдением соответствующих временных характеристик, двух тактовых последовательностей, *C* и *CS*, которые обеспечивают необходимую синхронизацию работы микросхем АЦП. В ответ на каждый такт синхронизирующей последовательности *C* от микросхем поступают очередные биты кода данных,

которые регистрируются программой *k09raspi.c*. на двух входных линиях параллельного порта. Принятые биты данных обрабатываются программой-драйвером, и из них формируются параллельные байты 12-разрядного кода АЦП, которые помещаются этим драйвером в доступный для чтения другими программами сегмент разделяемой памяти.

Ответственной за выборку сформированных драйвером данных из разделяемой памяти и дальнейшую обработку этой информации является программа управления измерениями *k09001*. Эта программа выполняет стандартные функции по поддержке измерительного процесса, считывает, сразу после запуска, набор конфигурационных параметров из входного файла *k09in*. и подстраивает алгоритм своей работы под особенности конкретной измерительной установки, отслеживает появление новых информационных посылок в сегменте разделяемой памяти, формирует из этих посылок массив двоичных данных с результатами измерений и записывает этот массив в файл с расширением *.zdat* на локальном диске. Перед записью на диск массив сжимается встроенным в программу *k09001* архиватором, что уменьшает суммарный объем выводимых данных и сокращает продолжительность информационного обмена с диском. Поскольку записанные таким образом непосредственно во время измерений файлы оказываются упакованными нестандартным образом, перед их отправкой на постоянное хранение они обрабатываются еще раз специальной программой - утилитой *k09006*, которая преобразует их в обычные архивные файлы *.dat.gz*, которые могут читаться стандартными архиваторами типа *zip*, *gzip* и им подобными. После конвертации файлы-архивы с данными автоматически пересылаются в общий центр обработки по беспроводным линиям связи.

Программа управления измерениями *k09001* написана на компилируемом языке программирования C++, что позволяет удовлетворить достаточно жесткие требования к скорости ее работы. Помимо этого, необходимая скорость обработки поступающей информации достигается за счет двойной буферизации и распараллеливания операций в этой программе: при своем запуске она создает в памяти компьютера два буферных массива для записи данных, в каждый момент времени один из этих массивов заполняется текущими данными, а информация из второго в это же время переписывается на диск компьютера в отдельном потоке исполнения. Микрокомпьютер Raspberry PiB+, который обеспечивает процесс оцифровки сигналов акустического детектора, работает под управлением специально адаптированной для него версии операционной системы Linux. Входящие в состав этой системы программы обеспечивают выполнение обычных операций по поддержке нормального функционирования всего измерительного процесса: автоматический запуск необходимых служебных программ-утилит, контроль и автоматическая коррекция системных часов, возможность удаленного подключения по линиям связи для контроля работы системы в режиме on-line и т.п.

Одной из специализированных программ, предназначенных для работы с архивными файлами данных акустического детектора, является программа визуализации *k09007*, которая, при запуске в графическом режиме работы, по-

звоняет просматривать в своем окне хранящиеся в этих файлах результаты измерений в виде интерактивных графиков. Программа *k09007* написана на языке *Python*, а ее графический оконный интерфейс реализован с использованием библиотеки *Tkinter*, которая входит в стандартную поставку этого языка. Отрисовка графиков в окне программы производится средствами графической библиотеки *Matplotlib* языка *Python*.

Помимо предусматривающего непосредственное взаимодействие с пользователем интерактивного режима работы, программа *k09007* поддерживает также неинтерактивный режим, в котором информация из архивных файлов с результатами измерений, вместо непосредственного отображения в графическом окне, передается внешним подключаемым модулям *k09007.exe*, реализующим различные алгоритмы ее обработки: цифровую фильтрацию данных, поиск кратковременных пиков интенсивности и т.п. В частности, один из таких модулей служит для вычисления усредненных параметров регистрируемых сигналов: среднеквадратичных значений кодов АЦП, которые рассчитываются как для снимаемого с микрофона аналогового сигнала, так и для его низкочастотной огибающей, а также числа приходящихся на одну минуту непрерывной записи событий с кодами АЦП, превышающими ряд пороговых значений.

Как показано на структурной схеме (рис. 3), вычисленные таким образом усредненные параметры акустического сигнала загружаются программой *k09007* в специально предназначенную для них таблицу *асои* одноименной базы данных. Хранящаяся в этой таблице информация может быть запрошена веб-сервером для отображения в текстовой или графической форме на веб-странице Тянь-Шаньской станции. Обработка запросов от веб-сервера и подготовка для него необходимой информации производятся посредством вспомогательной программы "CGE-скрипта общего назначения *k14003*.

Библиографический список

1. Berger Ch. et al. (Frejus Collab.). Experimental study of muon bundles observed in the Frejus detector // Phys. Rev. – 1989. – Vol. 40. – P. 2163.
2. Beringer J. Review of Particle Physics // Phys. Rev.: <http://pdg.lbl.gov> – 2013. – № D86. – P.1-22.
3. Гусев Г. А., Жуков В. В., Мерзон Г. И., Митько Г. Г., Степанов А. С., Рябов В. А., Чечин В. А., Чубенко А. П., Щепетов А. Л. Космические лучи как новый инструмент сейсмологических исследований // Краткие сообщения по физике ФИАН. – 2011. – № 12. – С. 43-51.
4. Вильданова Л. И., Гусев Г. А., Жуков В. В., Мерзон Г. И., Митько Г. Г., Наумов А. С., Рябов В. А., Степанов А. В., Чечин В. А., Чубенко А. П., Щепетов А. Л. Первые результаты наблюдения акустических сигналов, генерируемых мюонами космических лучей в сейсмически-напряженной среде // Краткие сообщения по физике ФИАН. – 2013. – № 12. – С. 31-39.
5. Тарасов Н. Т., Тарасова Н. В., Авагимов А. А., Зейгарник В. А. Изменение сейсмичности Бишкекского геодинамического полигона при электромагнитном воздействии // Геология и геофизика. 2001. – Т. 42. – № 10. – С. 1641-1649.
6. Хачикян Г. Я., Садыкова А. Б., Джанабилова С. Связь частоты повторяемости землетрясений и сейсмической энергии Земли с вариациями солнечной активности // Научный

журнал-приложение международного журнала «Высшая школа Казахстана». Поиск-Izdenis. – 2014. – № 2. – С. 55-61.

7. Хачикян Г. Я. Вариации солнечной активности и сейсмотектоническая активность Северного Тянь-Шаня / Г. Я. Хачикян, А. Б. Садыкова, Н. Н. Полешко // Поиск-Izdenis. Алматы. – 2014. – № 2 (1). – С. 114-119.

8. Дружин Г. И., Марапулец Ю. В., Чернева Н. В., Исаев А. Ю., Солодчук А. А. Акустические и электромагнитные излучения перед землетрясением на Камчатке // Доклады академии наук. – 2017. – Т. 472. – № 5. – С. 584-589.

9. Оскомов В. В., Каликулов О. А., Исаков Б. А. и др. Регистрация мюонной и электронно-фотонной компонент космического излучения годоскопическими модулями нейтронного супермонитора 6NM-64 // Исследования технических наук. – 2015. – № 3 (17). – С. 17-20.

Краткая информация об авторах.

Исаков Бахтияр Абуталипович, докторант физико-технического факультета Казахского национального университета имени аль-Фараби. *E-mail: leodel@mail.ru*

Таутаев Ернао Мадугарович, докторант физико-технического факультета Казахского национального университета имени аль-Фараби.

Садыков Турлан Хамзинович, д-р физ.-мат. наук, профессор, с.н.с. Сатпаев Университет, Физико-технический институт.

Щепетов Александр Леонидович, канд. физ.-мат. наук, с.н.с. ФИАН России имени П. Н. Лебедева и Тянь-Шанская высокогорная научная станция. *E-mail: shchepetoval@lebedev.ru*

Салифов Назыф Мунипович, в.н.с. Институт Ионосферы и Тянь-Шанская высокогорная научная станция. *E-mail: cosmo-base@mail.ru*