

# Цифровые сейсмические регистраторы и их калибровка

© С. В. Щербина, 2011

Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина

Поступила 5 мая 2010 г.

Представлено членом редколлегии А. В. Кендзерой

Описано цифрові сейсмічні станції, які розроблені у відділі сейсмології Інституту геофізики НАН України в 2006—2007 рр., а також модернізацію сеймоприймачів для використання їх під час мікросейсмічного районування. Наведено приклади записів локальних вибухів, розглянуто спосіб калібрування мікросейсмічної апаратури.

Description of the developed digital seismic stations in 2006—2007 years is presented in the article. The stations are used in the department of seismology of IG of NAS of Ukraine. Modernization is described of seismosensors for the use them in the processes of the microseismic districting. The examples of records of local explosions are retined and short-story description of process of calibration of microseismic apparatus is given.

**Краткое описание технических характеристик цифровых регистраторов (модель УК).** В период с мая 2006 г. по июль 2007 г. в отделе сейсмологии ИГФ НАН Украины было разработано и изготовлено пять цифровых регистраторов сейсмических явлений (ЦР) разной разрядности АЦП: 16 бит (УК9) и 24 бит (УК11-14). Краткие технические характеристики приведены в таблице.

Внешний вид ЦР УК9 (в раскрытом положении) представлен на рис. 1, на рис. 2 — внутреннее устройство цифровых регистраторов УК12-14.

Благодаря использованию контроллера шины PCI в виде отдельного электронного компонента, АЦП можно использовать с любым компьютером, имеющим такую шину. Это свойство

и было использовано для построения стационарного варианта ЦР УК11, который изготовлен на основе стандартного системного блока компьютера АТХ IBM.

На блоке контроллера шины PCI (рис. 2, В) установлены часы с собственным питанием от литиевого аккумулятора (ЗВ), который обеспечивает непрерывный ход часов в случае отключения основного блока питания. Коррекция этих часов производится с частотой, задаваемой в конфигурационном файле программы коррекции.

В качестве основного программного модуля в ЦР используется широкоизвестный сейсмологический сервер EarthWorm (EW) [Earthworm..., 2008], применяемый также и в ЦР УК6,7, которые разработаны во Львовском отделении ИГФ НАНУ.

Таблица

Параметры	УК9	УК11-14
Разрядность (биты АЦП)	16	24
Эффективных бит (на частоте 100 Гц)	14	21
Частота дискретизации сигнала	2—1024 Гц	1—1600 Гц
Число каналов	15	6
Питание	13/220 Вт	12/220 Вт
Потребляемая мощность (на 12 В)	15 Вт	15 Вт
Синхронизация времени	GPS	GPS
Датчики	ВЭГИК, С5С, акселерометры скважинные, наземные	ВЭГИК, С5С, акселерометры скважинные, наземные
Тип регистратора	Полевой Стационарный	Полевой Стационарный

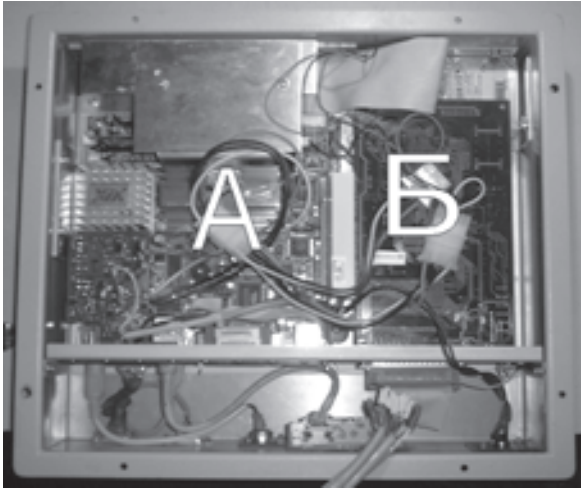


Рис. 1. Внутренний вид цифрового регистратора UK9: А — центральный компьютер, Б — 16-битное 16-канальное АЦП.

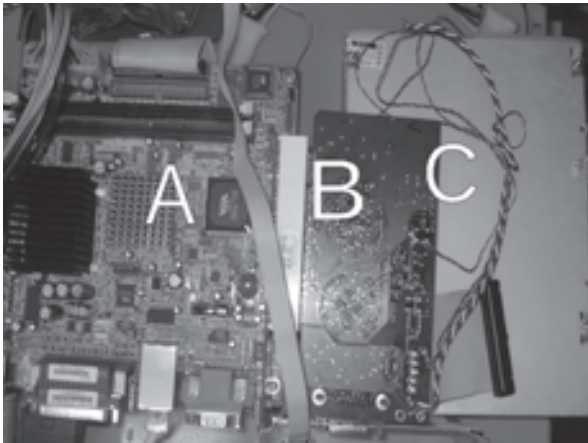


Рис. 2. Внутренний вид цифровых регистраторов сейсмических явлений UK12-UK14: А — центральный компьютер, В — контроллер АЦП, содержащий DSP процессор, часы и контроллер шины PCI, С — 24-битное АЦП в металлическом экране.

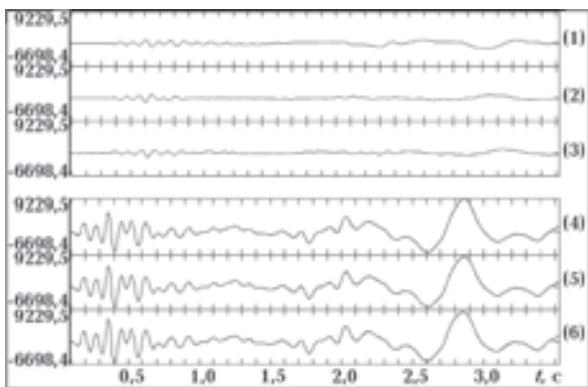


Рис. 3. Записи взрыва 29.12.2006 г. с/ст «СУМ» (ЦРИК9). Трассы 1—3 (датчик СМЗ) и 4—6 (датчик ВЭГИК) в едином масштабе по оси Y.

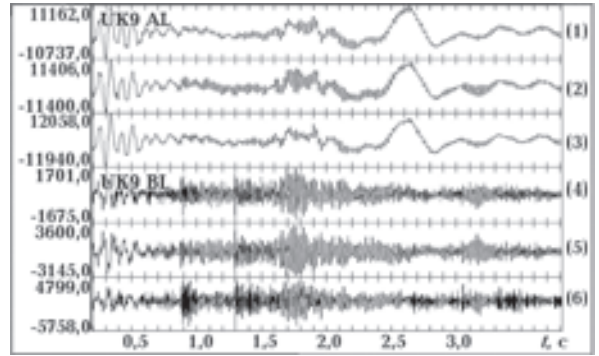


Рис. 4. Нефильтрованные записи взрыва. Трассы 1,2,3 — сейсмоприемники ВЭГИК, 4,5,6 — наземные акселерометры.

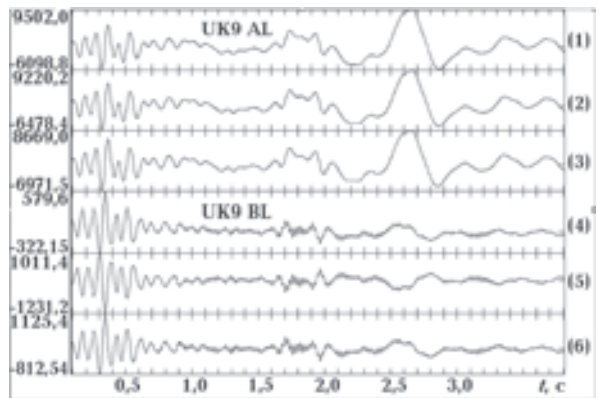


Рис. 5. Записи взрыва после фильтрации фильтром Баттерворта в полосе от 0,1 до 10,0 Гц.

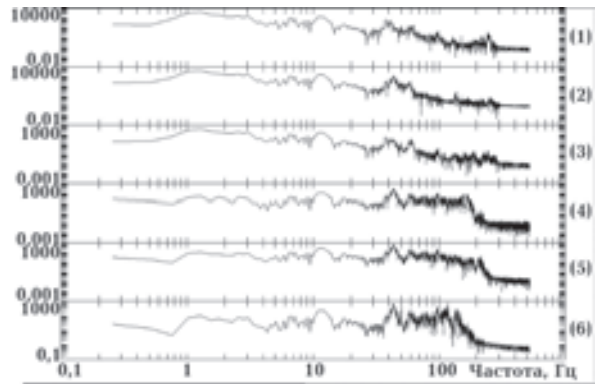


Рис. 6. Спектры записей взрыва для датчиков ВЭГИК — трассы 1, 2, 3 и акселерометров — трассы 4, 5, 6.

Сервер EW в случае ЦР UK11—14 состоит из двух модулей — Reading и SendToNet. Модуль Reading считывает данные с АЦП и отправляет в циклический буфер, длиной 4 Мбт. Кроме того, он принимает данные с GPS и при необходимости корректирует часы АЦП.

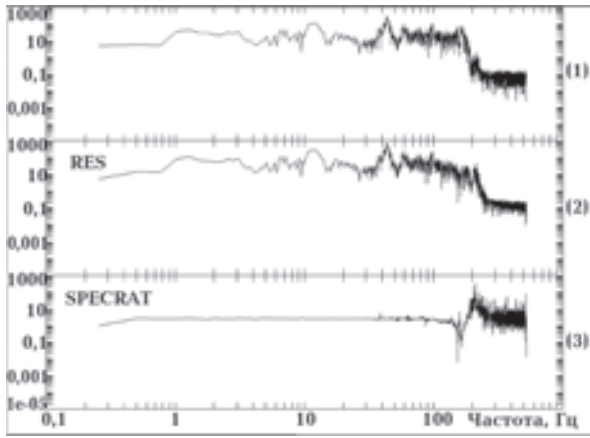


Рис. 7. Отношение спектров в лог-лог масштабе (3) для трасс (1, 2), представленных на рис. 5.

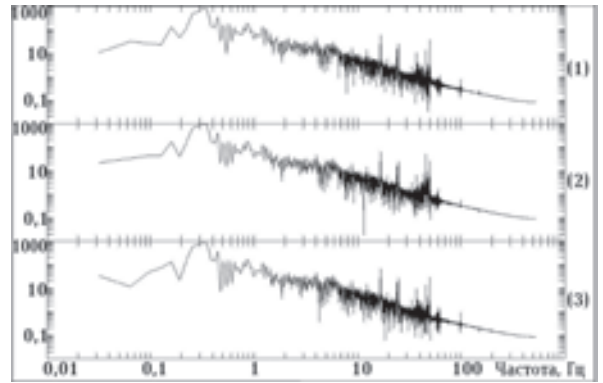


Рис. 10. Спектры короткого (27 с) участка микросейсм без транспортных помех в лог-лог масштабе.

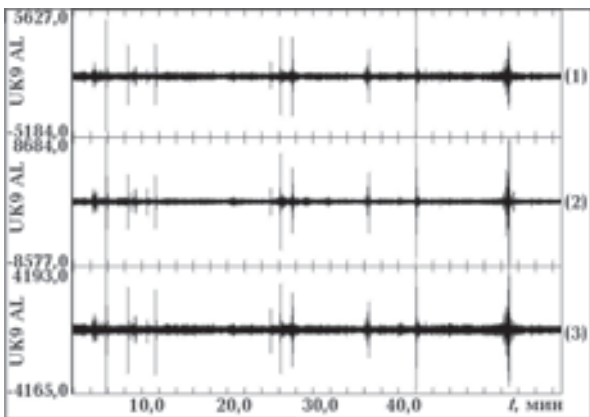


Рис. 8. Общий вид записей микросейсм, сделанных ЦР УК9 3 января 2007 г. с 01 ч 02 мин 21 с по 02 ч 01 мин 20 с. Каналы E, N, Z — трассы 1, 2, 3 соответственно.

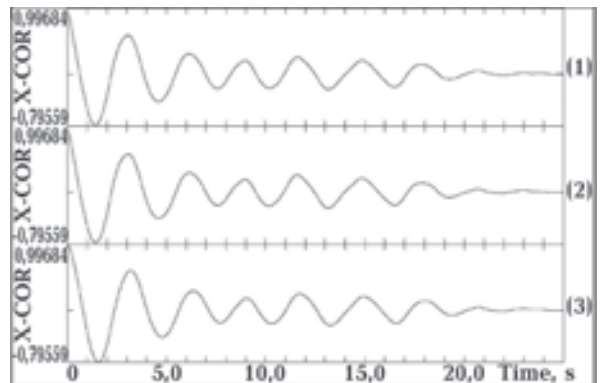


Рис. 11. Попарные корреляционные функции для фильтрованных трасс микросейсм без транспортных помех, записанных в ночное время.

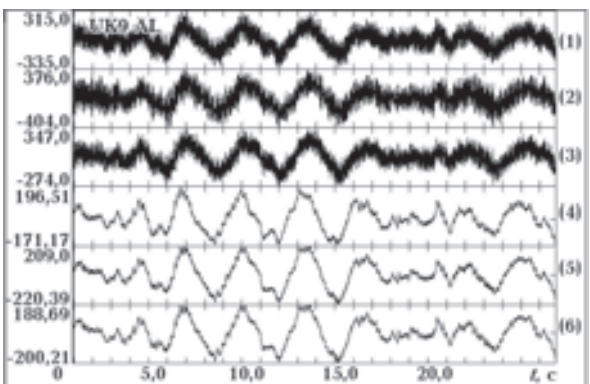


Рис. 9. Нефильтрованный (трассы 1, 2, 3) и фильтрованный (трассы 4, 5, 6) короткий участок микросейсм (27 с), представленных на рис. 8. Не содержит транспортную помеху.

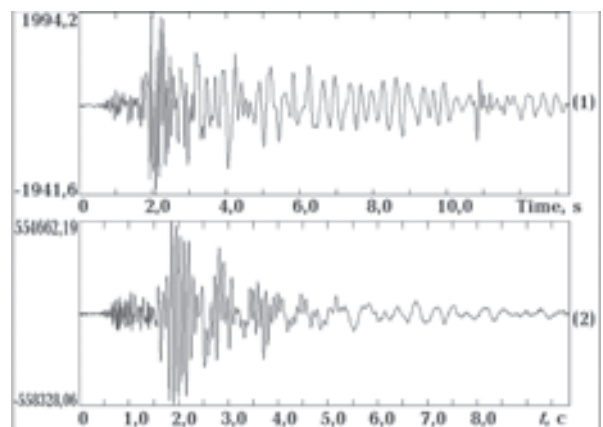


Рис. 12. Записи тайганского взрыва разными ЦР (трасса 1 — UK4, трасса 2 — UK13).

Модуль SendToNet после считывания данных из циклического буфера отправляет их в сеть по протоколу TCP/IP. На стороне клиента

эти данные принимает программа SeismoScope, которая прорисовывает данные на экране компьютера, а также позволяет вычислять спектр сигнала в реальном масштабе времени. Программа SeismoScope написана на языке программирования JAVA, что позволяет использовать ее на компьютерах с разными операционными системами.

В сервере EW имеется дополнительный модуль DiskMgr, который отслеживает наличие свободного дискового пространства на жестком диске.

Модуль Reading сохраняет полученные из АЦП данные на жестком диске ЦР в формате GSE. При сохранении данных они компрессируются и распределяются по каналам с указанием даты и времени начала получения данных из АЦП.

Все модули сервера EW ведут журналы (логи), с помощью которых можно проследить разные параметры работы модулей — время начала работы, окончания, а также время коррекции часов АЦП и ее величину.

**Примеры регистрации микросейсм и взрывов — сравнительные характеристики.** Для ЦР UK9 было проведено тестирование идентичности датчиков ВЭГИК и акселерометров на основе записи взрыва в карьере с. Лозовое. Все датчики были установлены на общее единое основание в одном направлении — параллельно одной из сторон бетонного постамент на с/ст «Симферополь».

12 декабря 2006 г. в 10 ч 46 мин 31 с был зафиксирован взрыв, который записала и с/ст «SYM», изготовленная в НПО «Геотех», г. Обнинск [SDAS ..., 2001]. На рис. 3 представлены записи этой станции и ЦР UK9. Видно, что датчики ЦР UK9 (ВЭГИКи) являются более чувствительными благодаря использованию вмонтированных в них специальных усилителей и перемотке стандартных катушек для повышения чувствительности и шумоподавления. Кроме того, сравнение трасс 4, 5, 6 показывает, что необходимая идентичность модифицированных сейсмоприемников ВЭГИК достигнута.

На рис. 4 представлены записи взрыва сейсмоприемниками ВЭГИК и наземных акселерометров, установленных параллельно. Интересно заметить, что на записях, сделанных акселерометрами, выделяются некоторые фазы, которые не видны или отсутствуют на записях, сделанных ВЭГИКами. Их можно наблюдать в районе 1,2—1,4 с на трассах 4, 5, 6. Очевидно, что акселерометры не «прописывают» поверхностную волну в районе 2,5 с, начало которой хорошо заметно на трассах 1, 2, 3.

На рис. 5 представлены записи взрыва в карьере с. Лозовое после фильтрации полосовым фильтром Баттерворта в полосе от 0,1 до 10,0 Гц. Судя по идентичности параметров всех трасс в пределах одной секунды от начала записи, можно сказать, что датчики, протестированные в данном эксперименте, согласованы по механическим и электрическим параметрам.

На рис. 6 показаны спектры записей исследуемого взрыва, сделанные в лог-лог масштабе по осям X и Y. Анализ спектров записей показывает, что имеется удовлетворительная согласованность регистрирующей аппаратуры (ЦР UK9) в пределах частот от 0,8 до 40,0 Гц.

На рис. 7 показано отношение спектров записей взрыва, сделанных акселерометрами, установленными параллельно. Это отношение является постоянным в пределах частот от 0,5 до 100,0 Гц и его можно использовать для определения полосы пропускания данных датчиков.

Рассмотрим идентичность каналов ЦР UK9 на основе регистрации микросейсмических шумов. Записи микросейсм сделаны 3 января в период с 01 ч 02 мин 21 с по 02 ч 01 мин 20 с. (рис. 8). Из всего массива выбираем короткий отрезок микросейсм для анализа (рис. 9). После фильтрации строим спектры и корреляционные функции попарно. Анализ спектральных характеристик (рис. 10) и корреляционных функций (рис. 11) показывает, что регистрирующие каналы ЦР UK9 имеют высокую степень идентичности в широком диапазоне как по записям сильных сигналов (взрыв), так и по записям микросейсмических шумов.

**Импульсная калибровка сейсмодатчиков разного типа и деконволюция.** При наличии ЦР с разной разрядностью в 16 и 24 бита возникает проблема сравнения записей сейсмических сигналов [Алексеев и др., 2004; Казаков, Светлов, 2005; Vormann, 2002; Kromer et al., 2007]. Например, 17 августа 2007 г. на плотине Тайганского водохранилища был зарегистрирован взрыв, произведенный в близлежащем карьере. Записи ЦР UK4 и UK13 приведены на рис. 12. Видно существенное различие в амплитудах записей, обусловленное разной разрядностью АЦП (UK4 — 16 бит, UK13—24 бита).

С помощью виброплатформы (рис. 13), были получены импульсные передаточные функции (рис. 14), с помощью которых можно провести операцию деконволюции над исходными записями и привести их к единому масштабу. Результат применения свертки передаточных функций (см. рис. 13) к записям взрыва (см. рис. 12) приведен на рис. 15.

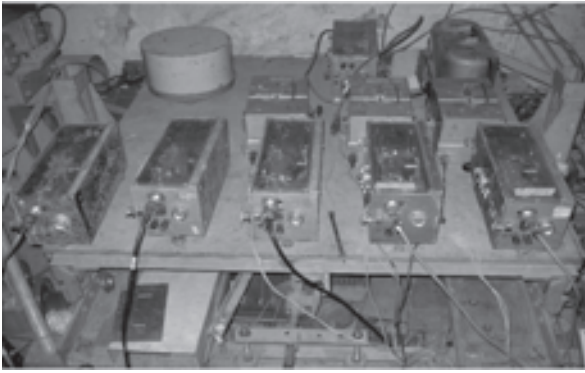


Рис. 13. Виброплатформа с установленными на нее датчиками для получения импульсных передаточных функций.

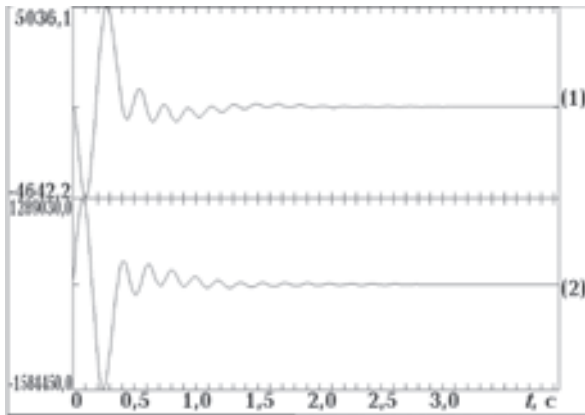


Рис. 14. Передаточные функции ЦР (трасса 1 — УК4, трасса 2 — УК13).

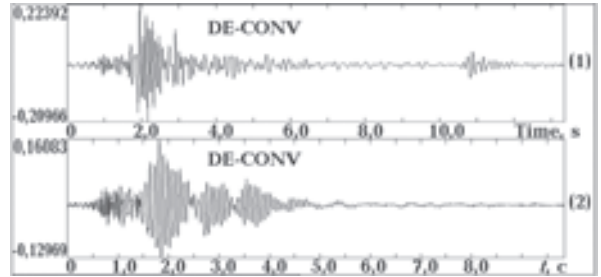


Рис. 15. Результат деконволюции записей тайганского взрыва для ЦР (трасса 1 — УК4, трасса 2 — УК13).

В результате деконволюции [Press et al., 1992] трасс записей и импульсных передаточных функций, получаем записи, сравнимые по амплитудам.

Анализ характеристики работы калибровочного устройства — виброплатформы (см. рис. 13) показал, что для более качественной, в смысле двухкомпонентной, процедуры калибровки требуется ее модернизация. Для этого процесса предполагается разработать калибровочное устройство с использованием лазерного интерферометра [Janeen, Romie, 2004; Takahashi et al., 2008; Zhou et al., 2004] для обеспечения высокой точности измерения перемещения как в горизонтальном, так и вертикальном направлениях.

### Список литературы

- Алексеев А. С., Геза Н. И., Глинский Б. М. Активная сейсмология с мощными вибрационными источниками. — Новосибирск: Изд-во СО РАН, 2004. — 387 с.
- Казаков В. А., Светлов А. В. Исследование средств измерений параметров активных элементов с помощью схемотехнического моделирования // Датчики и системы. — 2005. — № 5. — С. 2—8.
- Earthworm Documentation V7.3. December 23, 2008. — <http://folkworm.ceri.memphis.edu/ew-doc>.
- Bormann P. Seismic Sensors and their Calibration. New Manual of Seismological Observatory Practice. IASPEI // GeoForschungsZentrum Potsdam. — 2002. — 1. — P. 249—260.
- Kromer R. P., Hart D. M., Harris J. M. Test Definitions for the Evaluation of Seismic Sensors // SANDIA REPORT. SAND2007-5025. Unlimited Release. — 2007. — P. 12—27.
- Press W. H., Flannery B. P., Teukolsky S. A., Vetterling W. T. Convolution and Deconvolution Using the FFT in Numerical Recipes in FORTRAN. The Art of Scientific Computing, 2nd ed. — Cambridge, England: Cambridge University Press, 1992. — P. 531—537.
- Romie J. H. Advanced LIGO Quad Installation & Alignment Fixtures Product Design Specification. LIGO-T040151-02. — 2004. — P. 1—8.
- SDAS. Техническое описание и инструкция по эксплуатации. — Обнинск: Геотех, 2001. — С. 14—17.
- Takahashi R., Chong K. K., Lim B. H., Chen Y. T. Seismic Activity Measurement of 100m Laser Interferometer Gravitational Wave Antenna Development Site in Universiti Teknologi Malaysia. KAWASHIMAN (Kinki Univ.) // J. Faculty Sci. Technol., Kinki University. — 2008. — 36. — P. 27—30.
- Zhou Z. B., Yi Y. Y., Wu S. C., Luo J. Low-frequency seismic spectrum measured by a laser interferometer combined with a low-frequency folded pendulum // Measurement Science and Technology. — 2004. — 15, № 1. — P. 23—47.