ПРИБОРЫ И ИЗМЕРИТЕЛЬНЫЕ КОМПЛЕКСЫ, ИЗГОТОВЛЕННЫЕ В ЛАБОРАТОРИЯХ

УДК 550.838.084

АВТОНОМНАЯ СЕЙСМИЧЕСКАЯ СТАНЦИЯ СО ВСТРОЕННЫМИ ГЕОФОНАМИ

© 2027 г. К. С. Рябинкин[a,b], В. В. Пупатенко[a,c], С. В. Губин[a], К. А. Драчев[a], В. В. Насыров[a]

Поступила в редакцию 06.07.2026

После доработки 17.08.2026

Принята к публикации 08.09.2026

Сейсмические методы являются одним из основных инструментов мониторинга динамических процессов в земной коре, включая вулканическую активность. Для повышения плотности сети наблюдений, особенно в труднодоступных районах, актуальным является использование компактных автономных сейсмических станций лабораторного изготовления. Такие приборы должны отличаться невысокой стоимостью, малыми размерами, массой и энергопотреблением, возможностью адаптации к конкретным требованиям и условиям эксплуатации [1, 2].

В настоящей работе описана обладающая указанными характеристиками разработанная автономная сейсмическая станция со встроенными геофонами, предназначенная для непрерывной регистрации сейсмических колебаний и использования в составе комплексов мониторинга вулканизма и других природных процессов. Разработанный прибор преобразует механические колебания поверхности в электрический сигнал, оцифровывает его и записывает, обеспечивая временную привязку измерений.

Структурная схема сейсмического регистратора включает измерительный тракт, регистрирующий и управляющий модуль, систему хранения данных, средства связи и систему питания.

[a]Тихоокеанский государственный университет, Россия, Хабаровск

[b]Институт вулканологии и сейсмологии ДВО РАН, Россия, Петропавловск-Камчатский

[c]Институт тектоники и геофизики им. Ю.А. Косыгина ДВО РАН, Россия, Хабаровск

Измерительная часть состоит из трех ортогонально расположенных низкочастотных геофонов GS ONE LF с резонансной частотой 4.5 Гц. Сигнал с каждого геофона поступает на буферный усилитель, выполненный на операционном усилителе ADA4841-2, который одновременно выполняет функции согласования нагрузки и защиты входа аналого-цифрового преобразователя от всплесков напряжения, возможных при сильных механических воздействиях. Дополнительно предусмотрено подключение до четырех внешних аналоговых пассивных датчиков, например, метеодатчиков или газоанализаторов. Для каждого измерительного канала используется отдельный 24-битный аналого-цифровой преобразователь AD7766, в котором реализована цифровая фильтрация встроенным КИХ-фильтром нижних частот. Сигналы с дополнительных датчиков оцифровываются на встроенном в микроконтроллер аналого-цифровом анализаторе (АЦП).

Регистрирующий и управляющий модуль построен на платформе Teensy 4.1, основанной на микроконтроллере NXP MIMXRT1062DVJ6B с вычислительным ядром ARM Cortex-M7. Все АЦП подключаются к микроконтроллеру по шине SPI, передача данных инициируется микроконтроллером по прерыванию, формируемому сигналом готовности данных. Для точного и стабильного формирования тактовой частоты используются программируемый генератор сигналов Si5351A, счетчик 74HC163 и прецизионный источник опорного напряжения AD441B.

Оцифрованные сигналы сохраняются локально в стандартном формате miniSEED, широко используемом для сейсмических данных, на microSD-карту, возможна одновременная их передача на удаленный сервер через Ethernet-интерфейс, благодаря PHY-трансиверу DP83825L. Точные метки времени измерений обеспечиваются синхронизацией встроенных часов микроконтроллера посредством использования GPS-модуля GY-NEO6MV2, подключенного по интерфейсу UART, а при невозможности его использования и при наличии интернет-соединения – по протоколу NTP.

Питание устройства обеспечивается импульсным преобразователем напряжения на 5 В с пониженным уровнем шумов и линейными стабилизаторами на 3.3 и 2.5 В. Благодаря низкому энергопотреблению компонентов, средняя потребляемая мощность в автономном режиме составляет от 1.5 до 2.5 Вт в зависимости от частоты дискретизации. Устройство полностью помещено в пыле- и водозащищенный пластиковый корпус с прозрачной крышкой (рис. 1). На корпусе расположены разъем Ethernet, разъем питания, разъем для GPS-антенны, два разъема для дополнительных

датчиков, разъем USB-C и кнопка включения. Кнопка, крышка и разъемы оснащены резиновыми прокладками и заглушками.

В отличие от более ранней модели [3], сейсмическая станция оснащена более производительным процессором, благодаря которому устройство работает устойчиво и без задержек при передаче данных, повышена точность измерений благодаря замене АЦП, внедрению прецизионного источника опорного напряжения и оптимизации алгоритмов обработки данных. Дополнительно повышена автономность устройства, реализована гибкая настройка частоты дискретизации с возможностью плавного регулирования и создана печатная плата для более быстрого и удобного соединения.

Полевые испытания разработанных сейсмических станций проведены в августе 2025 г. на Камчатке [4]. Одна из станций была установлена на вершине купола Корякского вулкана, электропитание обеспечивалось солнечными панелями и комплектом аккумуляторов, станция была подключена к маршрутизатору с выходом в интернет через мобильную сеть. Испытания продемонстрировали пригодность устройства к регистрации землетрясений и его возможность стабильно работать в экстремальных погодных условиях.

ФИНАНСИРОВАНИЕ

Основная часть исследования выполнена за счет гранта Российского научного фонда № 24-17-20031 и Министерства образования и науки Хабаровского края (соглашение № 116С/2024). Начальные работы по созданию сейсмической станции выполнены в рамках государственного задания ИТиГ ДВО РАН (тема НИР № 126020216323-2), полевое тестирование сейсмической станции – в рамках государственного задания ИВиС ДВО РАН (тема НИР № FWME-2024-0015).

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Anthony R.E., Ringler A.T., Wilson D.C., Wolin E.* Seismolog. Res. Lett. 2019. V. 90. № 1. P. 219. https://doi.org/10.1785/0220180251

2. *Пупатенко В.В.* Геология и геофизика. Online First 2026. https://www.elibrary.ru/item.asp?id=89325539

3. *Рябинкин К.С., Пупатенко В.В., Литвих Д.А.* Вестник ТОГУ. 2023. Т. 71. № 4. С. 51.

4. *Рябинкин К.С., Озеров А.Ю., Пупатенко В.В., Губин С.В., Фролов В.И., Римлянд В.И., Драчев К.А.* Вестник ТОГУ. 2026. Т. 80. № 1. С. 23. https://doi.org/10.38161/1996-3440-2026-1-23-32

Адрес для справок: Россия, 680035, Хабаровск, ул. Тихоокеанская, 136, Тихоокеанский государственный университет. E-mail: kostya-rowan@mail.ru

ПОДПИСЬ К РИСУНКУ

Рис. 1. Автономная сейсмическая станция со встроенными геофонами (без крышки)

Рисунок

