

Устройство для калибровки и метрологической поверки цифровых сейсмических регистраторов

© С. В. Щербина, 2014

Институт геофизики НАН Украины, Киев, Украина

Поступила 13 января 2014 г.

Представлено членом редколлегии А. В. Кензгрой

Періодична тимчасова зміна властивостей сейсмометричної апаратури власної або іноземної розробки вимагає періодично проводити їх інженерне дослідження та метрологічний контроль. В період існування ЄССС таке тестування сейсмометрів проводилося на калібрувальних пристроях, розташованих в Росії. Зараз кількість сейсмічних датчиків різного виробництва в нашій країні збільшується. Коротко описується апаратура, розроблена для вібраційного тестування сейсмометрів різного виробництва і результати її використання для проведення перевірки методів процедур метрологічного контролю.

Ключові слова: сейсмометри, калібрування, сейсмометрія, метрологія, реалтаймові системи вимірювань.

Введение. В настоящее время в Украине увеличивается количество сейсмометрической аппаратуры как местного, так и импортного производства. Активное участие в этом процессе принимает Институт геофизики им. С. И. Субботина НАН Украины г. Киев (ИГФ НАНУ). В частности, в Карпатском регионе [Вербицкий и др., 2013] используется около 20 сейсмических станций собственной разработки и производства, а также одна станция Guralp CMG-40TD производства Великобритании [Usher et al., 1978], на сейсмически опасной территории АР Крым — только три новых станции местного и шесть достаточно старых станций советского производства. На территории центральной и восточной Украины имеется около 18 сейсмостанций для проведения различных сейсмических, технических и шахтных исследований.

С течением времени температурное, механическое, электрическое и электронное состояния любого сейсмодатчика изменяется. Например, хорошо известно, что происходит необратимое изменение сопротивления катушек датчика ВЭГИК, работающих в магнитном поле и предназначенных для генерации сейсмического сигнала за счет движения маятника. Очевидно, что этот процесс требует периодического учета при аналитических расчетах реальной скорости, смещения или ускорения. Приведем еще один пример серьезных временных изменений свойств сейсмометра. В отделе сейсмологии ИГФ НАНУ имеется им-

портный сейсмометр Guralp CMG-40TD [Usher et al., 1978], у которого произошли серьезные изменения технических характеристик. После ремонта необходимо провести тестирование технических и электронных параметров. В высококачественных импортных датчиках и аппаратуре, регистрирующих сейсмический процесс в широкой полосе частот, например, [Streckeisen STS-2, 1997], происходит ежесуточный внутренний калибровочный процесс. Эта информация позволяет учесть изменения параметров сейсмического процесса во времени в зависимости от состояния регистрирующей аппаратуры.

В период существования СССР размещенная на территории Украины аппаратура производства единой системы сейсмических наблюдений (ЕССН), таких как ВЭГИК, СД, СКД [Uyeda et al., 2001 и др.], проходила калибровочную процедуру тестирования ежегодно. Тестирование проводилось по условной договоренности ответственными организациями в начале весеннего периода. Такой выбор времени начала процесса тестирования был напрямую связан с температурными, техническими, электронными и другими изменениями сейсмической измерительной аппаратуры.

Для некоторых известных моделей сейсмометров специальная внутренняя калибровочная аппаратура встроена в сам сейсмометр. Рассчитанные новые параметры таких сейсмодатчиков сравнивались с описанными в документации.

С точки зрения технических вопросов метрологии и сертификации сейсмометров для проведения различных измерительных работ становится ясно, что необходимо периодически проводить как внутреннее, так и внешнее тестирование сейсмометров совместно с регистрирующим устройством (станцией) для выявления временных изменений и проверки их физических параметров.

В настоящей статье приводится краткое техническое описание запатентованного устройства [Пат. 77339..., 2013] для тестирования, калибровки и изучения сейсмометров, а также связанной с ними регистрирующей цифровой аппаратуры при наличии в ней обратной связи для реализации вопроса поиска оптимально допустимого значения процесса задержек измерений.

Новое устройство калибровки. Основная идея при разработке нового калибровочного устройства связана с необходимостью объединить как вертикальное, как и горизонтальное перемещение платформы устройства в одном варианте конструкции аппаратуры, поскольку калибровочное устройство (виброплатформа), находящееся в отделе сейсмологии ИГФ НАНУ в Симферополе, применяется в основном для калибровки горизонтальных составляющих сейсмометров [Щербина, 2011].

За счет большого размера площадки на ней возможно размещение сразу около 20 сейсмометров (для микросейсмического районирования) для тестирования их технического состояния. Важными техническими недостатками данного устройства являются:

- отсутствие возможности любого типа вертикального движения;
- отсутствие четких импульсных вертикального и горизонтального перемещений, которые позволяют математически точно сделать вычисление передаточных функций сейсмометров.

Это калибровочное устройство осуществляет непрерывное затухающее колебание в горизонтальной плоскости. Использовать такой входной сигнал для расчета параметров передаточных функций достаточно сложно по причине исключительно численного метода выполнения этой процедуры. Очевидно, что чем ближе значение входного сигнала сейсмометра на калибрующем его устройстве к импульсному теоретическому, тем проще становится математический аппарат его решения для получения строго вычисленной передаточной функции.

Отсутствие вертикального перемещения калибровочного устройства приводит к необходимости укладывать вертикальные датчики набор и снимать с них пружину компенсации вертикального перемещения. В результате этой процедуры возникает экспериментальная ошибка при расчете передаточной функции вертикальной составляющей сейсмометра. Однако такой вариант положения сейсмометра на горизонтальном калибровочном устройстве позволяет произвести только качественное тестирование, т. е. проверить, есть ли серьезные технические нарушения в передаточной функции вертикальной составляющей или нет.

Электронная регистрация осуществляется за счет емкостного датчика, одна часть которого закреплена на подвижной платформе, а другая — на неподвижном основании платформы. Выход емкостного датчика подключается к АЦП цифровой сейсмической станции.

Для решения вопроса о невозможности калибровки сейсмометров на этом устройстве, когда не допускалось их перемещение в наклонное положение в силу особенностей конструкций корпусов, проводилась работа по внутренней калибровке этих устройств через специальные внутренние электромагнитные калибровочные устройства. Результаты такой работы по определению эмпирических АЧХ разных сейсмометров на основе использования входных синусоидальных сигналов разной частоты позволили определить их передаточные параметры. Анализ относительных положений графиков АЧХ для различных сейсмометров позволяет оценить уровень чувствительности исследуемых устройств, который определяется направлением их использования для регистрации сейсмических вибраций разной природы — взрывов, землетрясений, микросейсм. Для вычисления наиболее точной передаточной функции сейсмометра делается расчет на основе математического аппарата решения интегрального уравнения первого рода.

Основные технические особенности и некоторые недостатки вышеперечисленной калибровочной аппаратуры привели к необходимости разработки нового калибровочного устройства, используя современные технические и компьютерные возможности.

На рис. 1 представлена техническая структура нового калибровочного устройства, описывающая только основную схему новых запатентованных конструктивных особенностей [Пат. 77339..., 2013]. Самая технически важная принципиальная особенность этого устройства

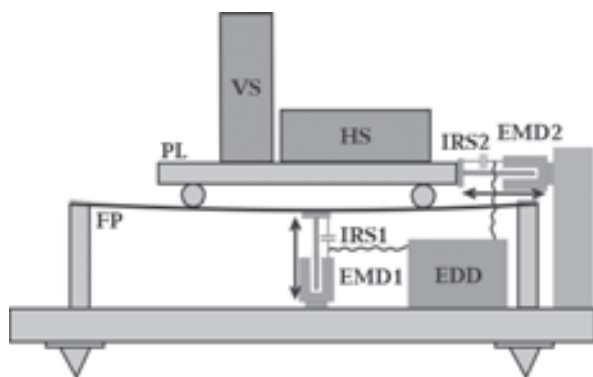


Рис. 1. Макет устройства для калибровки горизонтальных и вертикальных сейсмометров.

заключается в том, что совмещение горизонтального и вертикального перемещений на одном устройстве выполняется за счет использования гибкой пластины FP. На рис. 1 она показана слегка изогнутой за счет влияния размещенных на ней сейсмометров регистрации сейсмического процесса в вертикальном направлении. Воздействие на горизонтальный сейсмометр HS обеспечивается за счет перемещения платформы PL в горизонтальном направлении по гибкой пластине FP в этом же направлении. Движение платформы PL в вертикальном направлении для оказания импульсного или периодического воздействия на вертикальный датчик VS обеспечивается за счет изгиба пластины FP.

Рассмотрим короткое описание основных механических и электронных компонент этого калибровочного устройства: VS, HS — вертикальный и горизонтальный сейсмометрические датчики, которые расположены на подвижной платформе PL для их калибровки; PL — платформа для обеспечения входных импульсов горизонтального и вертикального направлений в расположенных на ней калибруемых сейсмометрах VS и HS; FP — изгибная пластина для обеспечения двух типов движения платформы PL, EMD1, EMD2 — электромагнитные устройства обеспечения как импульсного, так и периодического вертикального и горизонтального перемещений, IRS1, IRS2 — вертикальный и горизонтальный инфракрасные датчики перемещения платформы PL по/на пластине FP, EDD — электронное устройство для регистрации вертикальной деформации пластины FP и горизонтального смещения платформы PL. Механические калибровочные воздействия в двух направлениях (вертикальное на гибкую пластину FP и горизонтальное на платформу

PL) обеспечиваются за счет электромагнитов EMD1 и EMD2 в вертикальном и горизонтальном направлениях соответственно. За счет использования классических электронных генераторов может быть обеспечено как синусоидальное периодическое, так и импульсное перемещение калибровочного устройства.

Для регистрации перемещения применяются инфракрасные датчики смещения IRS1 и IRS2, подключенные к усилителю напряжения, расположенному в комплексном устройстве EDD. После электронного усиления сигнал передается на вход аналогово-цифрового преобразователя PCI-9111HR [ADLink Technology Inc., 1999] с 16-битным разрешением входного аналогового сигнала. Этот вариант записи входного калибровочного сигнала может использоваться для процесса калибровки сейсмометрических устройств, у которых отсутствует возможность записи входных внешних сигналов.

Существенная разница в способах тестового воздействия на калибруемые сейсмометры состоит в том, что импульсный метод воздействия не всегда способен обнаружить детальные изменения параметров сейсмометров на узких полосах частоты, поскольку осуществляется математически путем интегральных вычислений. Для обнаружения изменений механических и электромагнитных параметров датчиков необходимо использовать периодический метод калибровки — заданием полосы и шага частот, например, чисто синусоидального сигнала, который подается на устройства EMD1 и EMD2.

Программное обеспечение регистрации входных сигналов калибровочного устройства. Использование стандартных и широко распространенных персональных компьютеров с любыми непрофессиональными операционными системами (ОС) в измерительных процедурах приводит к нежелательным изменениям точности получаемых результатов в неограниченных количествах и в непредвиденных направлениях. Это связано с тем, что процессоры компьютеров со стандартными ОС не способны выдерживать ограниченные интервалы времени на выполнение разных операций. Очевидно, что для решения таких проблем при разработке калибровочного устройства необходимо использовать реалтаймовую операционную систему (РТ ОС). Учитывая большое разнообразие цен, лицензионных и качественных параметров, была выбрана ОС real-time Linux [Introduction..., 2002]. Были проведены исследования изменения параметра задержки

процессора при использовании РТ ОС и стандартной ОС при выполнении однообразных тестовых операций большого объема, например, копировании папки, содержащей файлы объемом 300 Мб, с одного диска на другой.

Процедура модернизации операционной системы Linux в направлении реалтайм (РТ) достаточно стандартна и в настоящее время хорошо известна [Barabanov, Yodaiken, 1996]. До и после ее проведения был проведен эксперимент по оценке параметров оцифровки входного сигнала на АЦП одного типа — синусоидального, с частотой 1 Гц. Для ответственного проведения такого эксперимента необходимо учитывать задержки процессора на выполнение операции получения данных с АЦП после оцифровки входного сигнала в разном диапазоне. Интервал для задержек процессора был выбран от 0,0001 до 0,0011 долей секунды для синусоидального входного сигнала. На рис. 2 показаны результаты процесса измерения параметров синусоидального сигнала посредством АЦП с их среднеквадратичной ошибкой для стандартной ОС и РТ ОС. Сравнивая график измерения периода одногерцового синусоидального входного сигнала на стандартной ОС (рис. 2, а) с графиком аппаратно (но не программно) аналогичного процесса в РТ ОС (рис. 2, б), видно, что качество измерительного процесса периода входного сигнала в РТ ОС несравнимо выше, чем в стандартной ОС, а ошибка измерения периода в РТ ОС минимум на порядок меньше (рис. 2, в).

Еще одним важным этапом процедуры измерения известного периода входного сигнала (1 с) стал процесс определения параметра временной задержки процессора для достижения высокой точности. Анализ результата эксперимента в определении известного периода входного сигнала показал, что имеется несколько допустимых значений времени задержки процессора (см. рис. 2, б).

На рис. 2, а показана зависимость измеренного периода сигнала от генератора на АЦП от задержки программы по обращению к процессору (в микросекундах), на рис. 2, в — амплитуда ошибки между компьютерными процессами в реалтайм и нереалтайм режимах. В реалтайм варианте ошибка процессора меньше, так как тратится меньше времени на выполнение программ (процессов), загруженных в оперативную память компьютера. При получении записей разными типами аппаратов, используемых в процессе измерений, и дальнейшем математическом расчете их значений это очень

важно, поскольку минимизация биполярного сдвига по времени приводит к более допустимым статистическим разбросам погрешностей измерений.

Тестирование измерительных свойств калибровочной аппаратуры. После комплексной разработки и технической сборки калибровочного устройства (см. рис. 1) необходимо было провести тщательный процесс тестирования его электронно-механической части путем измерений смещений при равнозначных по шагу нагрузках в вертикальном и горизонтальном направлениях. Горизонтальное смещение подвижной части платформы РЛ осуществлялось с помощью винта, прикрепленного к неподвижной части, и небольшого его вращения, которое было минимально допустимым по техническим свойствам микрометра, измеряющего реальные смещения. Вертикальное перемещение — вследствие переменной нагрузки определенным количеством воды, наливаемой в достаточно большую пластиковую емкость размером в 0,02 куб. м. Такие экспериментальные измерения выходного напряжения двухкомпонентного электронного датчика смещений в двух направлениях (вертикальном и горизонтальном) показали их полную линейную зависимость. Коэффициент зависимости значения выходного напряжения датчика смещений от амплитуды входного смещения платформы (A) измеряется в В/мк и определяется по формуле $Y=Ax+B$, где x — смещение, измеряемое в микронах, а Y — смещение, измеряемое в вольтах. Значение константы B определяется положением пластины инфракрасного датчика смещения относительно ее нуля, поэтому должно быть выбрано минимальным. Установка самой пластины двухкомпонентного инфракрасного интерферометра для измерений смещений двумя частями IRS1 и IRS2 (см. рис. 1) в положение нуля выполняется перед началом процесса измерений. Результаты эксперимента представлены в табл. 1.

Для проверки качества расчета коэффициентов преобразования выходного напряжения двухкомпонентного датчика смещения из вольт в микроны необходимо провести расчет отклонений их вычисленных значений при разных режимах работы — 20 и 200 мк/В. При вертикальном режиме измерений среднее значение коэффициента $A=0,051977667$ В/мк, усредненный процент отклонений самого среднего от всех остальных значений — 3,93 %, при горизонтальном режиме измерений $A=0,049868667$ В/мк, усредненный процент — 0,81 %.

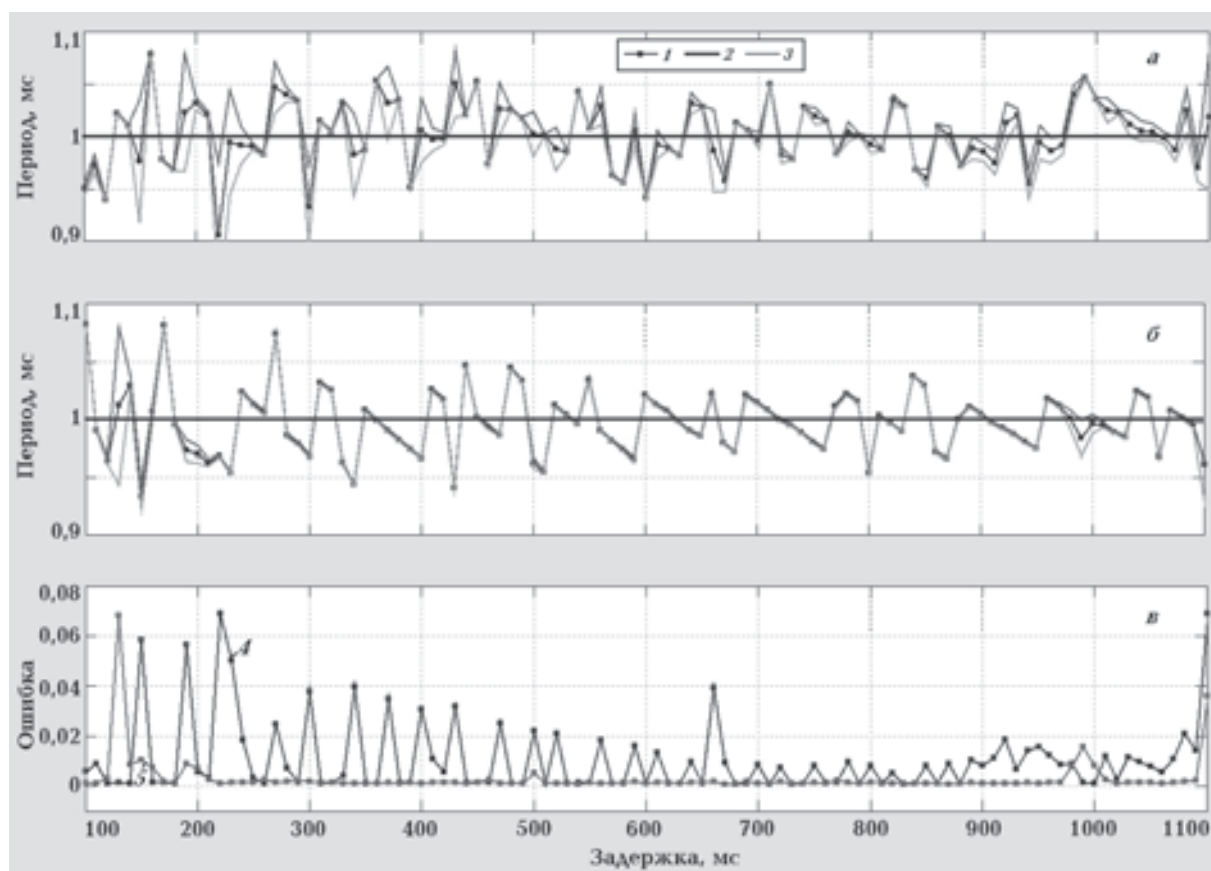


Рис. 2. Экспериментальное измерение периода входного сигнала АЦП PCI-9111HR в зависимости от задержки процессора и ошибка этого процесса при оцифровке входного сигнала в виде синуса частотой 1 Гц: 1 — измеренный сигнал, получаемый с АЦП PCI-9111HR, 2 — теоретический сигнал частотой 1 Гц с генератора, 3 — ошибка измерений, 4 — не-реалтаймовая ОС, 5 — реалтаймовая ОС.

Т а б л и ц а 1. Значения коэффициента *A* и константы *B* при разных режимах работы двухкомпонентного датчика смещения и типах микрометра

Режим работы, мк/В	Диапазон смещений, мк		A, В/мк		B	
	Вертикальный	Горизонтальный	Вертикальный	Горизонтальный	Вертикальный	Горизонтальный
20	от -50 до +50	от -40 до +34	0,052136	0,049758	+1,752469	+0,003767
20	от -300 до +300	от -300 до +300	0,048907	0,050478	-0,134395	-0,224348
200	от -1200 до +970	от -3000 до +25000	0,005489	0,004937	-0,041866	+0,093170

Сравнительный анализ процентов отклонений (3,93 и 0,81 %) показывает, что для измерений вертикальных перемещений требуются более точные методы, чем те, которыми данные измерения осуществлялись в первый раз.

Импульсная калибровка станций различных конструкций. В процессах разработки, модернизации и тестирования технического состояния всех существующих украинских станций необходимо проводить периодическую поверку их работы и определять допустимые

пределы изменений параметров технических компонентов системы блоков их устройств и сейсмометров. Перед таким важным шагом разработанный калибровочный прибор необходимо предварительно протестировать путем проверки качества его работы на имеющихся сейсмостанциях внутренней разработки. Для этого была выбрана сейсмостанция DAS04 [Вербицкий, 2006], разработанная в карпатском отделе ИГФ НАНУ. В качестве входного сейсмометра, в который подавался входной

сигнал в виде прямоугольного импульса разной амплитуды использовался датчик SK1P. Первоначально перед импульсной калибровкой сейсмометра SK1P, подключенного к данной станции, была проведена предварительная работа по вычислению коэффициентов для преобразований цифровых единиц АЦП в смещения, измеряемых в микронах. В табл. 2 представлены значения этих коэффициентов для каждого канала отдельно с указанием констант, которые необходимо учитывать при вычислениях в каждый момент работы каждого заново подключаемого сейсмометра к любому из каналов.

Таблица 2. Значения коэффициентов преобразований единиц АЦП в микроны для станции DAS04 с сейсмометрами SK1P по каждому каналу

Канал	Коэффициент преобразования, мк/ADC unit	Константа поправки
E	0,000031991049	0,546915008344
N	0,000033023593	1,051730752418
Z	0,000042860462	1,511692983584

Коэффициенты преобразования единиц АЦП вычислялись для каждого канала станции DAS04 отдельно путем проведения процедуры стандартных метрологических процессов, представленных в виде подачи прямоугольного входного сигнала определенной амплитуды на каждый канал отдельно, величина которой

измерялась микрометром, прикрепленным к платформе. Экспериментальный процесс для канала E станции DAS04 показал, что есть линейная прямая зависимость значений единиц АЦП канала E этой станции, подключенной к сейсмометрам SK1P, от входного прямоугольного сигнала в микронах.

Для проверки работы основной измерительной части самого калибровочного устройства (для проверки точности измерений смещений с помощью стрелочного микрометра) повелись испытательные измерения входных смещений и откликов на них импортного сейсмометра Guralp CMG40T. Для этого использовалось программное обеспечение (ПО) [Güralp..., 2012], разработанное его производителями и обеспечивающее процессы вычисления значений ускорения, скорости и смещения в любой момент записи. Результаты представлены в табл. 3. Проведенный простой анализ разброса значений ошибки и ее среднего значения показывает, что для более точных результатов необходимо использовать статистические классические методы вычислений.

Кроме измерений реальных смещений с помощью устройств, фиксирующих этот процесс как входной сигнал для любого сейсмометра или сейсмостанции, запатентованное калибровочное устройство позволяет за счет использования входного сигнала в виде прямоугольного импульса осуществлять вычисление АЧХ однократно. Существует достаточно много публи-

Таблица 3. Экспериментальное сравнение измеренных и вычисленных значений смещений для канала N сейсмометра Guralp CMG40T

Реальное значение входного смещения, мк	Вычисленное значение смещение, мк	Разница между вычисленным и измеренным значением
20,0	19,255	0,745
50,0	46,429	3,571
100,0	95,489	4,571
150,0	127,613	22,387
200,0	195,200	4,800
250,0	274,464	-24,464
300,0	322,182	-22,182
350,0	344,527	5,473
400,0	423,488	-23,488
450,0	430,316	19,684
500,0	472,704	27,296
600,0	613,713	-13,713
Среднее значение отклонений		0,385

каций, в которых представлены результаты разных методов калибровки, в том числе полученные аналогичным способом, с хорошо описанными математическими методами вычислений передаточных функций сейсмометров на основе использования нулей и полюсов (см., например, [Bormann, 2009; Mitronovas, Wielandt, 1975]). В этих работах хорошо описано, почему использование входного сигнала в виде прямоугольного импульса в процессе калибровки для любой сейсмостанции позволяет в допустимых пределах точности за достаточно короткий период однократного процесса измерений получать поканальные цифровые значения записей, с помощью которых можно вычислить передаточную функцию данного устройства.

В качестве первого тест-устройства для процесса калибровки сейсмологического оборудования отечественного производства, использующегося в нашей стране для измерений вибраций поверхности земли во многих научных и технических направлениях [Вербицкий, 2006], была выбрана станция DAS04 с подключенными к ней тремя сейсмометрами SK1P. Результат спектрального анализа реакции канала E этой станции с подключенным к нему горизонтальным сейсмометром SK1P представлен на рис. 3. На рис. 3, а виден отклик горизонтального сейсмометра SK1P на входной сигнал прямоугольной формы, длина которого по времени была выбрана в пределах порядка 4 с, что необходимо для прослеживания полного затухания отклика сейсмометра. Ниже представлены результаты преобразования Фурье входного сигнала, которые рассчитаны с помощью использования действительной и мнимой части результатов расчета и представляют собой их амплитуду (рис. 3, б) и фазу (рис. 3, в)

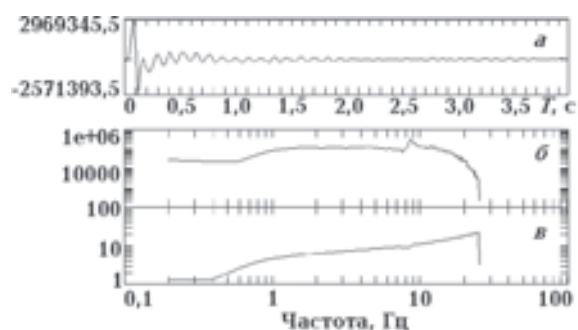


Рис. 3. Результаты экспериментального процесса калибровки канала E с сейсμοприемником SK1P на станции DAS04: а — запись сигналов отклика вертикального сейсмометра SK1P на входной прямоугольный импульс, б — спектр отклика, в — фаза отклика.

преобразования Фурье входного сигнала прямоугольной формы.

Для проверки свойств и качества работы запатентованного устройства проводилось его дальнейшее испытание с помощью калибровки станции UK16 с модернизированным сейсμοприемником ВЭГИК внутренней разработки [Щербина, 2011] и сейсмометра международной сертификации Guralp CMG40T [Güralp..., 2012]. Результаты откликов этих отдельных устройств в виде записей и их спектральных преобразований представлены на рис. 4—6.

На рис. 4 показаны записи откликов канала E с сейсμοприемником ВЭГИК станции UK16 и результаты расчетов преобразований Фурье записей этих откликов. На рис. 4, а видны разные типы записи откликов, которые чередуются значениями амплитуд и знаками направлений по вертикальной оси. Такое изменение типа отклика связано с тем, что калибруемым сейсмометром данного образца производится дифференцирование входного сигнала прямоугольной формы, который своим знаком отражает изменение направления движения верхней части платформы PL (см. рис. 1).

Процесс исследования свойств запатентованного калибровочного устройства был опробован и на международном сертифицированном сейсмометре Guralp CMG40T [Güralp..., 2012], который обладает достаточно высокими техническими качествами и имеет специальное ПО для расчетов реальных сигналов в виде ускорений, скорости и смещения (рис. 5).

Наиболее важные результаты этой работы представлены на рис. 6 — два графика спек-

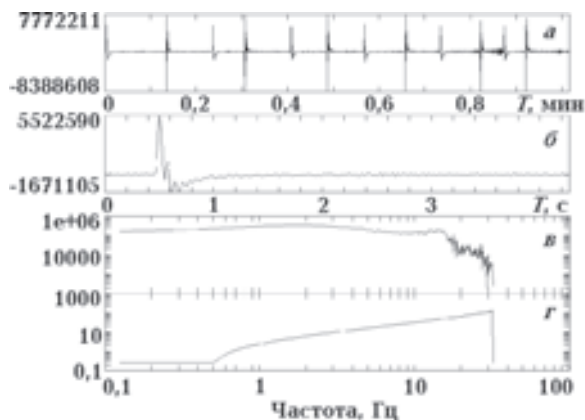


Рис. 4. Результат анализа экспериментального процесса калибровки канала E с сейсμοприемником ВЭГИК на станции UK16: а — запись сигналов отклика вертикального сейсмометра ВЭГИК на несколько входных прямоугольных импульсов, б — увеличенный отклик сейсмометра, в — спектр отклика, г — фаза отклика.

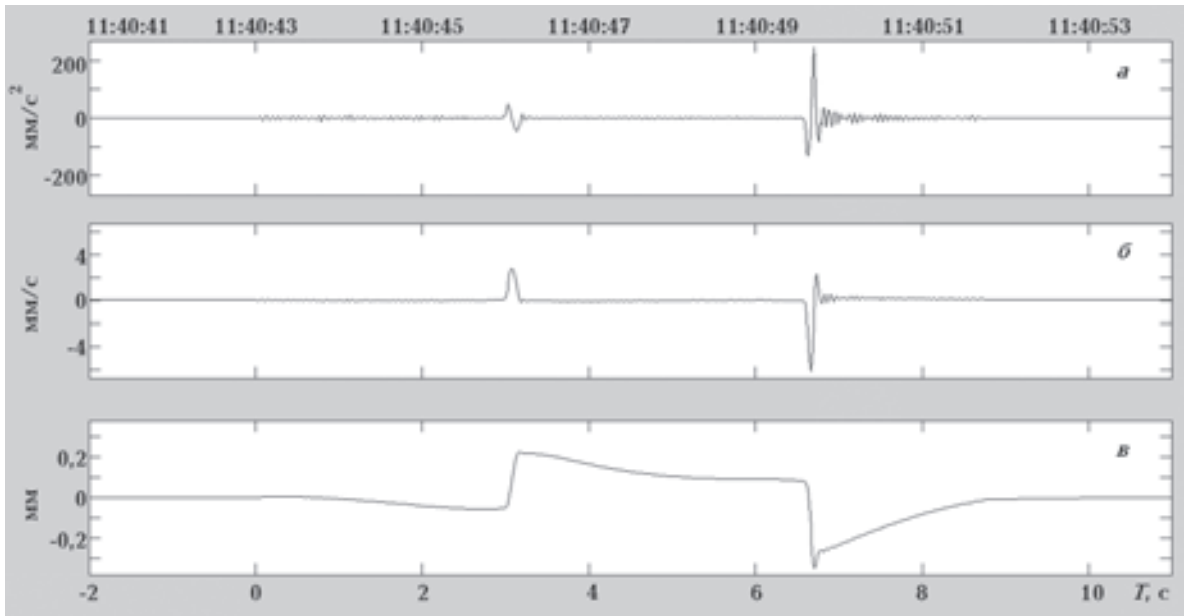


Рис. 5. Результаты экспериментального процесса калибровки канала N сейсмометра Guralp CMG40T: расчетная запись ускорения сейсмометра (а), скорости (б), смещения (в) на входной прямоугольный импульс.

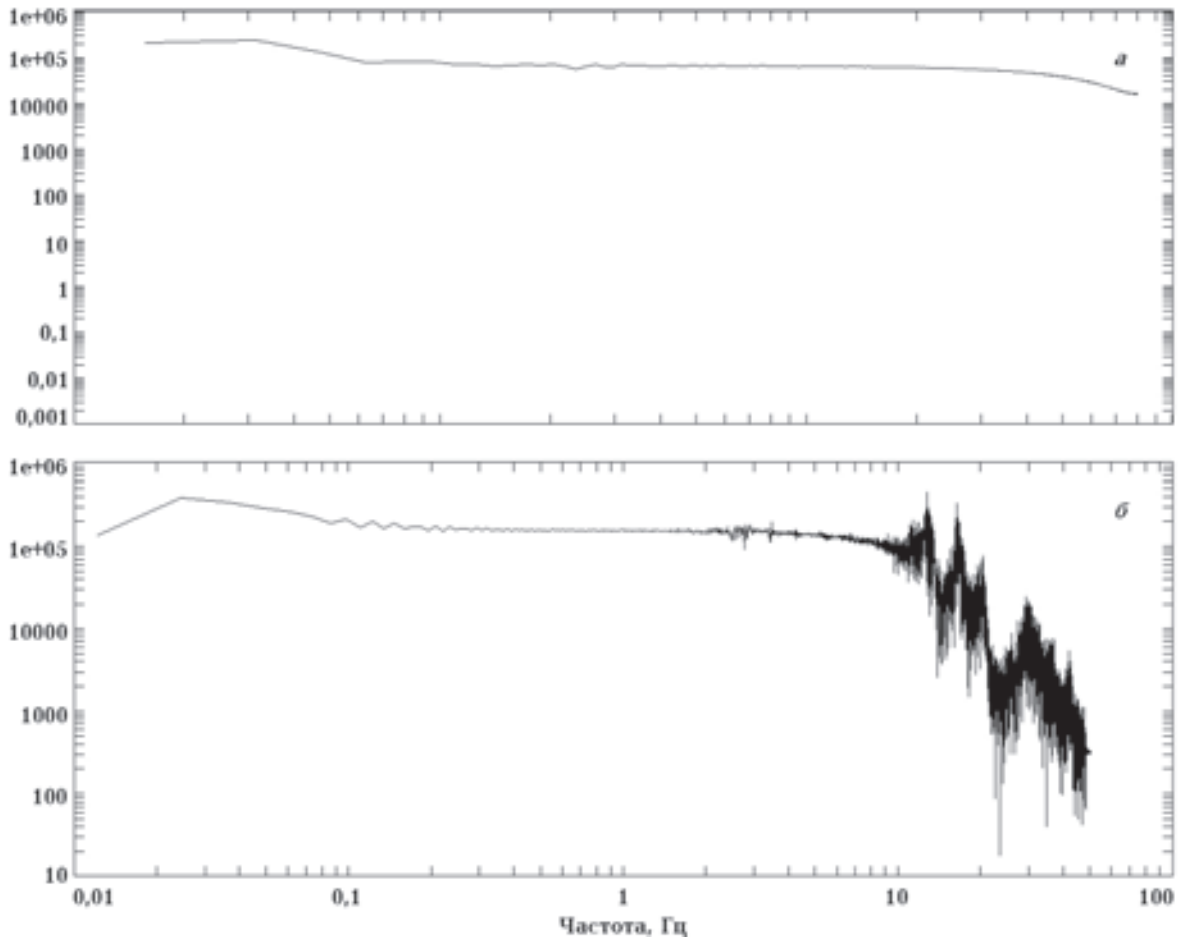


Рис. 6. Результат экспериментального процесса калибровки канала N сейсмометра Guralp CMG40T: а — спектр входного сигнала прямоугольной формы с платформы, б — отклик сейсмометра на сигнал прямоугольной формы.

тральных преобразований Фурье: 1) спектр входного сигнала прямоугольной формы с платформы, который имеет достаточно широкую полосу частот, 2) спектр отклика этого сейсмометра на входной сигнал прямоугольной формы. При простой сверке полученного результата калибровки при испытании нового разработанного калибровочного устройства на сейсмометре с международной сертификацией можно увидеть, что полученный результат подтверждает некоторые свойства этого сейсмометра. Так, на рис. 6, б справа, в соответствии с техническим описанием сейсмометра Guralp CMG40T, виден спад амплитуды спектральной функции канала N в диапазоне от 10 до 50 Гц. Практически до 0,033 Гц уровень амплитуды практически линеен, что также соответствует значениям, приведенным в техническом писании.

Выводы. Экспериментальные опробования запатентованного калибровочного устройства показали его широкие возможности для проведения работ по тестированию изменяющихся во времени механических и электронных свойств сейсмометров и сейсмостанций отечественной и международной разработки. С его помощью можно определять коэффициенты преобразований единиц АЦП в записях в различные физические и метрологически стандартизированные значения смещения, скорости и ускорения. Кроме того, производя параллельные синхронные измерения входных сигналов для сейсмостанций и сейсмометров разного типа одновременно, можно оценивать их качественные технические различия или совпадения.

В настоящее время работа по этим направлениям носит более теоретический характер, чем прикладной, что явно ограничивает возмож-

ности при проведении процедур для определения метрологических свойств сейсмологических приборов в отношении их соответствия государственным требованиям при проведении измерений. Например, на сайте (<http://thedifference.ru/chem-otlichaetsya-poverka-ot-kalibrovki>) хорошо описано, каким образом должна проводиться процедура определения органами государственной метрологической службы (или любыми другими уполномоченными организациями) пригодности сейсмометрических измерительных устройств для использования в определенных направлениях исследований или стандартных измерений. Анализируя цитату из этого источника: «Поверка — это проверка соответствия определенным стандартам. Калибровка — это приведение к определенным стандартам. Поверка — обязательная процедура. Калибровка — процедура добровольная и необязательная. Поверка осуществляется исключительно силами ГМС. Калибровка, кроме органов ГМС, может выполняться метрологической службой организации или предприятия, даже не имеющей соответствующей аккредитации», можно прийти к выводу, что в силу требований выполнения этих условий для приведения сейсмооборудования собственной разработки к международному стандарту необходимо провести и осуществить ряд организационных, технических и научных работ по организации определенных групп специалистов, которые обладают необходимыми знаниями и опытом работы в таких направлениях, а также провести разработку и производство программно-аппаратных комплексов, метрологические возможности которых также должны соответствовать международным стандартам метрологического контроля сейсмологического и сейсмометрического оборудования.

Список литературы

- Вербицкий С. Т. Апаратно-програмний комплекс DAS-04 для моніторингу небезпечних геодинамічних та природних явищ: *Матеріали Всеукраїнської наук. конф. «Моніторинг небезпечних геологічних процесів та екологічного стану геологічного середовища»*, Київ, 21—24 вересня 2006 р. Київ: ВПЦ «Київський університет», 2006. С. 159—161.
- Вербицкий С. Т., Вербицкий Ю. Т., Прокопишин В. И., Игнатишин В. В. Carpathian Seismological Network of Ukraine. 2013. <http://seism.lviv.ua/map>.
- Пат. 77339 Украина. Устройство для калибровки сейсмометров (Щербина С. В., Фещенко А. И., Панков Ф. Н, Лесовой Ю. В., Кендзера А. В.). Опубл. 11.02.2013. Бюл. № 3.
- Щербина С. В. Цифровые сейсмические регистраторы и их калибровка. *Геофиз. журн.* 2011. Т 33. № 2. С. 136—160.
- ADLink Technology Inc. PCI-9111 Multi-Functions Data Acquisition Card. User's Guide. Manual Rev 2.11: January 25. 1999.
- Barabanov M., Yodaiken V., 1996. Real-time linux. *Linux Journal*, March.
- Bormann P., 2009. New Manual of Seismological

- Observatory Practice (NMSOP). Potsdam: Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, P. 1—18.
- Güralp Systems Introduction, 2012. <http://www.guralp.com/documents/html/MAN-SWA-0003>.
- Introduction to Linux for Real-Time Control. Introductory Guidelines and Reference for Control Engineers and Managers. Aeolean Inc., 54 Sarah Bishop Road Ridgefield. CT 06877-1215. Version 2.0.0, 2002-12-11, T1531.
- Mitronovas W., Wielandt E., 1975. High-precision phase calibration of long-period electromagnetic seismographs. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 65(2), 441—424.
- Streckeisen STS-2. Appendix B. Summary Sheet for PASSCAL Sensor, 1997. www.iris.edu/hq/files/programs/passcal/docs/sensor_specs/sts2.pdf.
- Usher M. J., Guralp C. M., Burch R. F., 1978. The Design of Miniature Wideband Seismometers. *Geophys. J. Roy. Astr. Soc.* 55(is. 3), 605—613.
- Uyeda S., Nagao T., Hattori K., Hayakawa M., Miyaki K., Molchanov O., Gladyshev V., Baransky L., Schekotov A., Fedorov E., Pokhotelov O., Andreevsky S., Rozhnoi A., Khabazin V., Gorbatiykov A., Gordeev E., Chebrov V., Sinitsyn V., Lutikov A., Yunga S., Kosarev G., Surkov V., Belyaev G., 2001. Geophysical Observatory in Kamchatka region for monitoring of phenomena connected with seismic activity. *Nat. Hazards Earth System Sci.*, 1(1/2), 3—7.

A device for calibrating and metrological verification of digital seismic recorders

© S. V. Shcherbina, 2014

Periodic temporary change properties seismometrological own equipment or foreign development requires periodic their engineering studies and measurement control. In the period of the USSM is made on test seismometer calibration devices located in Russia. Now the number of seismic sensors of various industries in the country is increasing. Briefly describes the instrumentation developed for vibration testing of different seismometer output and results of its use for testing methods of metrological control procedures.

Key words: seismometers, calibration, seismometry, metrology, measurement of real-time systems.

References

- Verbickij S. T., 2006. Hardware-software system DAS-04 for monitoring hazardous geodynamic and natural phenomena: *Proceeding of the Ukrainian Sci. Conf. «Monitoring of hazardous geological processes and ecological condition of the environment»*, Kiev, September 21—24, 2006. Kiev: «Kiev University», 159—161 (in Ukrainian).
- Verbickij S. T., Verbickij Ju. T., Prokopishin V. I., Ignatishin V. V., 2013. Carpathian Seismological Network of Ukraine. <http://seism.lviv.ua/map>.
- Shherbina S. V., 2011. Digital seismic recorders and their calibration. *Geofizicheskij zhurnal* 33(2), 136—160 (in Russian).
- Shherbina S. V., Feshhenko A. I., Pankov F. N., Lesovoj Ju. V., Kendzera A. V., 2013. Device for calibration of seismometers. Ukraine. Pat. 77339 (in Russian).
- ADLink Technology Inc. PCI-9111 Multi-Functions Data Acquisition Card. User's Guide. Manual Rev 2.11: January 25. 1999.
- Barabanov M., Yodaiken V., 1996. Real-time linux. *Linux Journal*, March.
- Bormann P., 2009. New Manual of Seismological Observatory Practice (NMSOP). Potsdam: Deutsches GeoForschungsZentrum GFZ, P. 1—18.
- Güralp Systems Introduction, 2012. <http://www.guralp.com/documents/html/MAN-SWA-0003>.
- Introduction to Linux for Real-Time Control. Introductory Guidelines and Reference for Control Engineers and Managers. Aeolean Inc., 54 Sarah Bishop Road Ridgefield. CT 06877-1215. Version 2.0.0, 2002-12-11, T1531.
- Mitronovas W., Wielandt E., 1975. High-precision phase calibration of long-period electromagnetic seismographs. *Bull. Seismol. Soc. Am.*, 65(2), 441—424.
- Streckeisen STS-2. Appendix B. Summary Sheet for PASSCAL Sensor, 1997. www.iris.edu/hq/files/programs/passcal/docs/sensor_specs/sts2.pdf.
- Usher M. J., Guralp C. M., Burch R. F., 1978. The Design of Miniature Wideband Seismometers. *Geophys. J. Roy. Astr. Soc.* 55(is. 3), 605—613.
- Uyeda S., Nagao T., Hattori K., Hayakawa M., Miya-

ki K., Molchanov O., Gladyshev V., Baransky L.,
Schekotov A., Fedorov E., Pokhotelov O., Andre-
evsky S., Rozhnoi A., Khabazin V., Gorbatikov A.,
Gordeev E., Chebrov V., Sinitsyn V., Lutikov A.,

Yunga S., Kosarev G., Surkov V., Belyaev G., 2001.
Geophysical Observatory in Kamchatka region for
monitoring of phenomena connected with seismic
activity. *Nat. Hazards Earth System Sci.*, 1(1/2), 3—7.