ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р ИСО 16063-22—2012

Вибрация

МЕТОДЫ КАЛИБРОВКИ ДАТЧИКОВ ВИБРАЦИИ И УДАРА

Часть 22

Ударная калибровка сравнением с эталонным преобразователем

ISO 16063-22:2005
Methods for the calibration of vibration and shock transducers — Part 22: Shock calibration by comparison to a reference transducer (IDT)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2014

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Федеральным государственным унитарным предприятием «Всероссийский научно-исследовательский институт метрологической службы» (ФГУП «ВНИИМС») на основе собственного аутентичного перевода на русский язык международного стандарта, указанного в пункте 4, с участием Автономной некоммерческой организации «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем» (АНО «НИЦ КД»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 183 «Вибрация, удар и контроль технического состояния»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 29 ноября 2012 г. № 1381-ст

4 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту ИСО 16063-22:2005 «Методы калибровки датчиков вибрации и удара. Часть 22. Ударная калибровка сравнением с эталонным преобразователем» (ISO 16063-22:2005 «Methods for the calibration of vibration and shock transducers — Part 22: Shock calibration by comparison to a reference transducer»).

Наименование настоящего стандарта изменено относительно наименования указанного международного стандарта для приведения в соответствие с требованиями ГОСТ Р 1.5 (пункт 3.5).

При применении настоящего стандарта рекомендуется использовать вместо ссылочных международных стандартов соответствующие им национальные стандарты Российской Федерации и межгосударственные стандарты, сведения о которых приведены в дополнительном приложении ДА

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Правила применения настоящего стандарта установлены в ГОСТ Р 1.0—2012 (раздел 8). Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (gost.ru)

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Вибрация

МЕТОДЫ КАЛИБРОВКИ ДАТЧИКОВ ВИБРАЦИИ И УДАРА

Часть 22

Ударная калибровка сравнением с эталонным преобразователем

Vibration. Methods for the calibration of vibration and shock transducers.
Part 22. Shock calibration by comparison to a reference transducer

Дата введения — 2013—12—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает требования к методам ударной калибровки сравнением преобразователей поступательной вибрации с использованием измерений опорного ускорения, скорости или силы при заданном ударном возбуждении. Данные методы применимы в диапазоне длительности ударных импульсов[1)] от 0,05 мс до 8,0 мс и динамическом диапазоне (по пиковому значению) от 100 м/с^2 до 100 км/с^2 (в зависимости от длительности удара). Методы позволяют определять коэффициент преобразования по удару (отношение пиковых значений выходного сигнала преобразователя и измеряемого ускорения).

Эти методы не предназначены для калибровки датчиков силы, применяемых в модальном анализе.

Примечание 1 — Цель настоящего стандарта состоит в обеспечении пользователей, выполняющих измерения удара, прослеживаемостью результатов измерений к национальным эталонам, как это предписано [18] и [23].

Примечание 2 — Методы, установленные настоящим стандартом, основаны на измерении зависимости ускорения от времени. Этим данные методы принципиально отличаются от метода, описанного в ИСО 16063-1 и основанном на принципе изменения скорости. Следовательно, коэффициент преобразования по удару принципиально отличается от коэффициента преобразования, полученного по ИСО 16063-1, но находится в согласии с определением коэффициента преобразования по [21].

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ИСО 2041 Вибрация, удар и контроль технического состояния. Словарь (ISO 2041, Mechanical vibration, shock and condition monitoring — Vocabulary)

ИСО 5347-22 Методы калибровки датчиков вибрации и удара. Часть 22. Определение частот резонансов акселерометра. Общие методы (ISO 5347-22, Methods for the calibration of vibration and shock pick-ups — Part 22: Accelerometer resonance testing — General methods)

ИСО 16063-1:1998 Методы калибровки датчиков вибрации и удара. Часть 1. Основные положения (ISO 16063-1:1998, Methods for the calibration of vibration and shock transducers — Part 1: Basic concepts)

ИСО 18431-2 Вибрация и удар. Методы обработки сигналов. Часть 2. Временные оконные функции для преобразования Фурье (ISO 18431-2, Mechanical vibration and shock — Signal processing — Part 2: Time domain windows for Fourier Transform analysis)

---

1) В отдельных случаях эти методы применимы для более коротких или более длинных длительностей ударного импульса.

Издание официальное

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ИСО 2041, а также следующий термин с соответствующим определением:

3.1 **пиковое значение** (peak value): Максимальное значение величины или максимальное абсолютное значение ударного импульса.

4 Неопределенность измерения

Предельные значения неопределенности измерения коэффициента преобразования по удару приведены в таблице 1.

Под неопределенностью измерения здесь и далее понимается расширенная относительная неопределенность в соответствии с ИСО 16063-1. При вычислении неопределенности предполагается, что значение коэффициента охвата равно двум, что соответствует вероятности охвата приблизительно 95 %.

Значения неопределенности, указанные в таблице 1, могут быть достигнуты при условии, что в период измерения энергия возбуждения какой-либо моды резонанса преобразователя или ударного механизма мала по сравнению с энергией в диапазоне частот калибровки. Резонансную частоту преобразователя определяют в соответствии с ИСО 5347-22.

Таблица 1 — Неопределенность измерения для предельных условий испытаний

Ударный механизм (метод испытаний)	Пиковое значение ускорения[a], км/с^2	Длительность импульса[a, b], мс	Максимальная неопределенность измерения, %
Маятник	1,5	3	5
Падающий шар	100	0,100	5
Пневматический поршень	100	0,100	5
Стержень Гопкинсона (сравнение по сигналу скорости)	100[c]	0,050[c]	10
Стержень Гопкинсона (сравнение по сигналу ускорения)	100[c]	0,050[c]	6
Разрезной стержень Гопкинсона (сравнение по сигналу силы)	100[c]	0,050[c]	10

[a] Пиковые значения и длительности импульса могут изменяться в пределах ±10 %.
[b] Длительность импульса определяют на уровне 10 % пикового значения (см. раздел 7).
[c] Методы допускают применение бóльших пиковых значений ускорения и более короткие длительности импульса, но без сопоставления с методами первичной калибровки по [21].

Примечание — При калибровке преобразователей высокой точности (например, эталонных преобразователей), а также в случае, если принимаются соответствующие меры для уменьшения составляющих неопределенности с целью их соответствия заданным требованиям (см. бюджет неопределенности в приложении А), неопределенность измерения может быть меньше указанной в таблице 1. В ходе межлабораторных сличений для испытаний с использованием маятника, падающего шара и пневматического поршня была получена неопределенность измерения 1 % в диапазоне пиковых значений от 200 до 2000 м/с^2 [1].

Пиковое значение ускорения может быть выражено в единицах стандартного ускорения свободного падения g_n ($1g_n$ = 9,80665 м/с^2; 1,5 км/с^2 ≈ $150g_n$).

При оценке неопределенности измерения, а также последствий воздействия удара на преобразователь (его повреждения или разрушения) следует рассматривать удары наименьшей длительности в соответствии с техническими условиями изготовителя.

5 Требования к испытательному оборудованию и средствам измерений

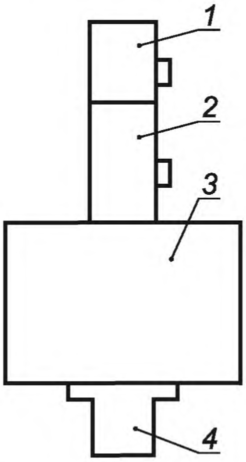
5.1 Общие положения

Поверхности, на которые крепятся преобразователи (эталонный и испытуемый), должны быть полированными, плоскими и чистыми. Шероховатость поверхности *Ra* (среднее арифметическое отклонение профиля) должна быть менее 1 мкм. Отклонение от плоскостности монтажной поверхности должно быть не более 5 мкм. Отклонение от перпендикулярности продольной оси резьбового отверстия для монтажа преобразователя должно быть не более 10 мкм на интервале, равному глубине отверстия. Резьбу и момент затяжки выбирают в зависимости от материала монтажной поверхности с учетом рекомендаций изготовителя.

5.2 Калибраторы с наковальней (калибровка в диапазоне от 100 м/с^2 до 100 км/с^2)

5.2.1 Общие положения

Если ударным механизмом калибратора с наковальней является падающий шар или пневматический поршень, то калибруемый преобразователь рекомендуется устанавливать на верхнюю монтажную поверхность эталонного преобразователя (способ установки «спина к спине»), как показано на рисунке 1. Такой способ установки не рекомендуется для калибраторов с ударным механизмом в виде маятника (см. 5.2.2 и рисунок 3). Масса и размеры калибруемого преобразователя вместе с приспособлениями для установки не должны существенно превышать массу и размеры эталонного преобразователя, поскольку на его коэффициент преобразования и на зависимость коэффициента преобразования от частоты влияют присоединенные массы. Период собственных колебаний калибруемого преобразователя должен быть менее 0,2 длительности приложенного полусинусоидального импульса, чтобы не допустить перегрузки и «звона» сигнала преобразователя на резонансе.



1 — калибруемый преобразователь; *2* — эталонный преобразователь;
3 — сейсмическая масса; *4* — наковальня

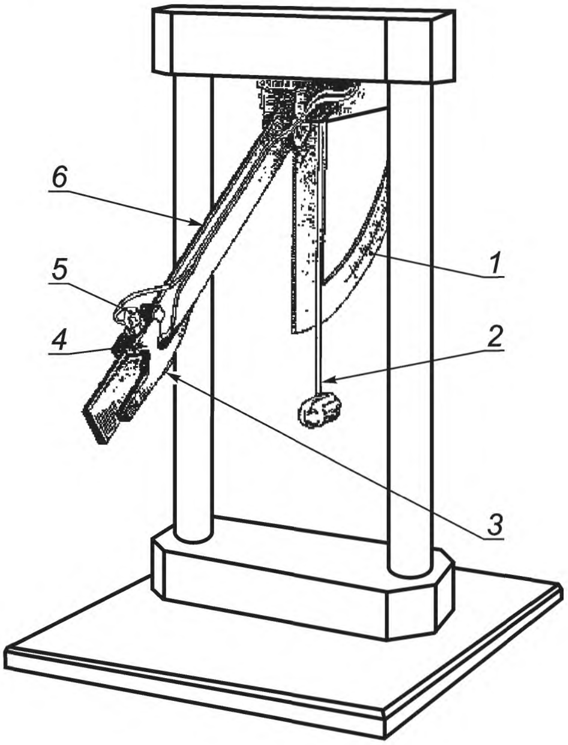
Рисунок 1 — Рекомендуемый способ установки преобразователей, наковальни и сейсмической массы

5.2.2 Ударный механизм в виде маятника

Калибратор удара с маятниковым механизмом позволяет определять коэффициент преобразования по удару и линейность по амплитуде в широком диапазоне нагрузок.

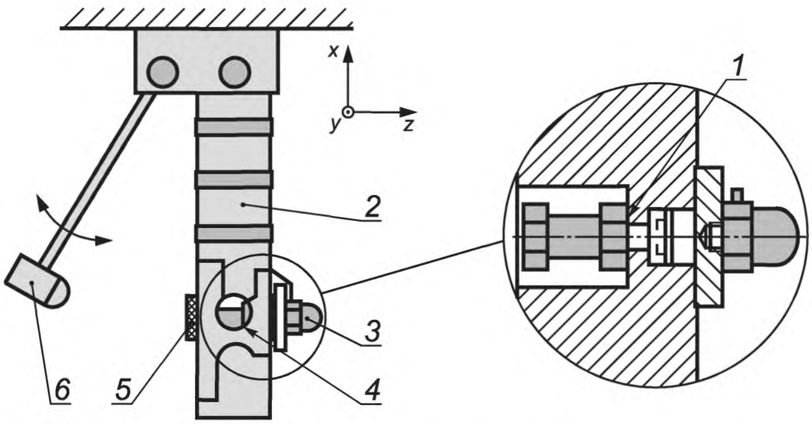
Калибровку сравнением выполняют при ускорениях от 100 до 1500 м/с^2 (от 10 до 150g_n) при длительностях полусинусоидальных импульсов (на уровне 10 % пикового значения) от 3 до 8 мс. Схематичное изображение калибратора удара с маятниковым механизмом показано на рисунке 2. Длительность ударного импульса T зависит от пикового значения ускорения, например 3 мс при 1500 м/с^2 и 8 мс при 100 м/с^2. Линейность по амплитуде может быть измерена по 4—7 ударам маятниковой системы или с использованием ряда одиночных ударов с разными ускорениями.

Калибратор удара с маятниковым механизмом состоит из жесткой рамы, маятника-молотка и маятника-наковальни. Типичная рама имеет квадратное основание размерами 500 × 500 мм и высоту 700 мм. Масса всей конструкции приблизительно равна 60 кг. Длина маятника приблизительно 400 мм. Отклонение молотка на желаемый угол с последующим отпусканием приводит к удару молотка по наковальне. Максимальное изменение скорости во время ударного столкновения — менее 3 м/с. Эталонный и калибруемый преобразователи устанавливают на наковальне, как показано на рисунке 3.



1 — шкала с регулируемым упором; *2* — маятник-молоток; *3* — упругая прокладка; *4* — эталонный преобразователь; *5* — калибруемый преобразователь; *6* — маятник-наковальня

Рисунок 2 — Пример калибратора удара с маятниковым механизмом



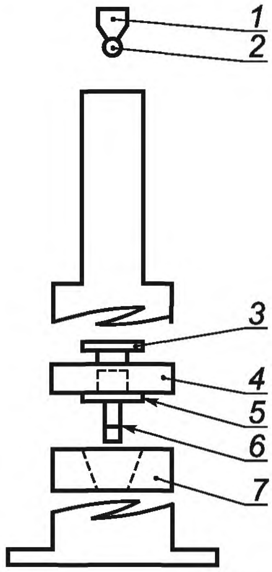
1 — измерительная поверхность, использованная при первичной калибровке; *2* — маятник-наковальня; *3* — калибруемый преобразователь; *4* — эталонный преобразователь; *5* — бутадиеновый каучук; *6* — маятник-молоток

Рисунок 3 — Правильная установка преобразователей и определение измерительной поверхности

Градусная шкала служит для отсчета углового перемещения. Оба маятника имеют приблизительно одинаковый момент инерции, что обеспечивает серию ударов с уменьшающейся амплитудой. Упругая прокладка между маятниками передает удар с известной формой импульса от одного маятника другому. Твердость прокладки определяет форму и длительность импульса, а также количество ударов. Для создания импульсов полусинусоидальной формы используются бутадиеновые прокладки толщиной 8 мм. Испытуемый и опорный преобразователи располагаются в узловой точке первой осевой моды маятника наковальни для уменьшения искажений измеряемой вибрации. Рекомендуется, чтобы центр тяжести сейсмической массы испытуемого преобразователя был совмещен с осью чувствительности эталонного преобразователя на наковальне маятника при помощи монтажной шпильки или другой монтажной детали [15].

5.2.3 Ударный механизм в виде падающего шара

В калибраторе с падающим шаром эталонный и калибруемый преобразователи устанавливают на наковальне в положении «спина к спине», как показано на рисунке 4.



1 — вакуумный держатель; *2* — стальной шар; *3* — плунжер (необязательный элемент); *4* — магнитный держатель; *5* — наковальня; *6* — преобразователи; *7* — улавливающий механизм

Рисунок 4 — Пример калибратора удара с падающим шаром

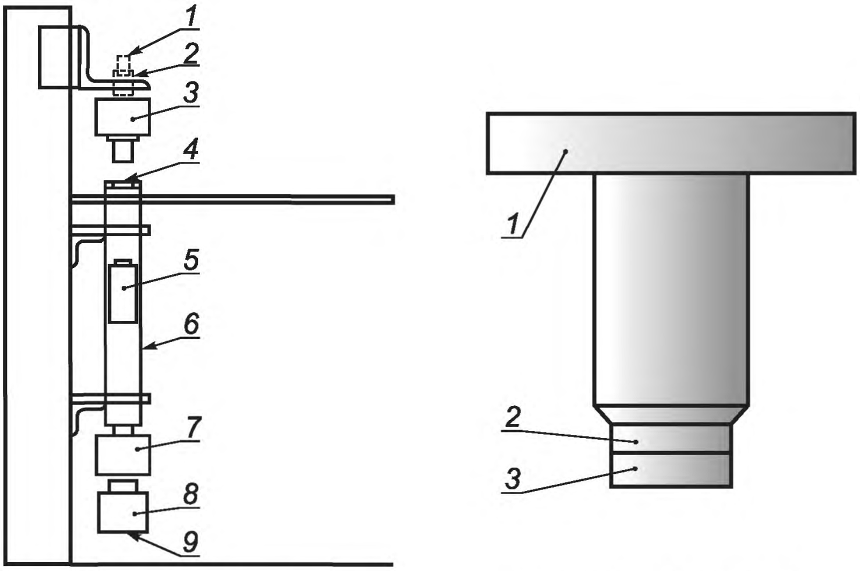
При помощи падающего шара можно воспроизвести удар с пиковым значением ускорения от 100 м/с^2 до 100 км/с^2 и длительностью от 0,1 до 10 мс. Элементы ударного механизма в сборе размещены внутри трубы. Преобразователи устанавливают на дне наковальни, удерживаемой в начальном положении магнитным полем.

Для позиционирования и высвобождения стального шара используется вакуумный держатель, расположенный в верхней части трубы таким образом, чтобы шар падал в центр наковальни. В результате удара шара по наковальне создается ударный импульс, вызывающий свободное падение наковальни на улавливающий механизм с пенистой резиной, расположенной ниже области магнитного поля. Пиковые значения и длительность ударного импульса могут регулироваться изменением диаметра и массы шара [2], а также изменением демпфирования, обеспечиваемого материалом, который наносят на ударную поверхность наковальни.

Калибратор удара с падающим шаром используют для определения коэффициента преобразования как функции пикового значения ускорения (в единицах g_n) или частоты [3]. В идеальном случае параметры аппаратуры должны быть регулируемыми с целью получения импульсов со значительной спектральной энергией в диапазоне частот от 5 до 10 кГц, независимой от пикового значения. Например, пиковые значения ускорения в диапазоне от 100 до $1000g_n$ можно получить с помощью наковальни диаметром менее 25 мм. Плунжер предотвращает многократные столкновения шаров с относительно малыми диаметрами с наковальней после начального удара. Использование шаров с наковальней малого размера для создания импульсов имеет два преимущества. Во-первых, уменьшение массы наковальни уменьшает риск повреждения преобразователей, если наковальня сталкивается с улавливающим механизмом. Во-вторых, уменьшение размера наковальни увеличивает собственные частоты ее мод. Второе преимущество является важным при определении пиковых значений во временной области, поскольку резонанс наковальни может значительно модулировать огибающую ударного импульса.

5.2.4 Ударный механизм в виде пневматического поршня

Изображенный на рисунке 5 калибратор с пневматическим поршнем, наносящим удар при вертикальном движении вверх, представляет собой простое регулируемое средство вторичной ударной калибровки преобразователей, обеспечивающее хорошую воспроизводимость результатов. Пиковые значения ускорения от 200 м/с^2 до 100 км/с^2 (от 20 до 10 000g_n) при полусинусоидальной форме импульса длительностью от 100 мкс до 3 мс создаются ударом стального снаряда по наковальне. Типичный материал наковальни – сталь или алюминий. Эталонный и калибруемый преобразователи установлены на наковальне в положении «спина к спине». Регулятор давления позволяет управлять давлением на поршень с помощью клапана. Ударное воздействие поршня воспринимает резиновая прокладка наковальни. После удара наковальня пролетает короткую дистанцию до ее остановки амортизирующим ограничителем. Поршень движется внутри цилиндра. Широкий диапазон амплитуд и длительностей ударного импульса обеспечивается регулировкой давления и комбинацией наковален, дополнительных масс и толщиной прокладки.



a) калибратор удара

1 — амортизирующий ограничитель; *2* — калибруемый и эталонный преобразователи; *3* — дополнительная масса (необязательный элемент); *4* — наковальня с прокладкой; *5* — поршень; *6* — цилиндр; *7* — клапан; *8* — регулятор; *9* — источник сжатого воздуха

b) наковальня с прокладкой

1 — наковальня; *2* — резиновая прокладка; *3* — войлочная прокладка

Рисунок 5 — Пример калибратора удара с пневматическим поршнем

Высокие скорости поршня при ударе и большие соударяющиеся массы приводят к повреждению прокладки. При поврежденной прокладке калибратор теряет способность воспроизводить повторяемые импульсы. Кроме того, пиковые значения таких импульсов могут чрезмерно возрасти. Если повреждение прокладки приводит к удару металла о металл, то создаваемые при этом ускорения способны привести к разрушению элементов калибратора практически при любых давлениях в пневмосистеме. Поэтому перед проведением калибровки состояние прокладок необходимо проверять.

Характеристики ударного импульса определяются следующими параметрами:

a) скоростью поршня;

b) массой наковальни (с дополнительной массой) и установленных на ней преобразователей с устройствами крепления;

c) деформацией прокладок.

Скорость поршня примерно пропорциональна давлению. Скорость наковальни (площадь под кривой ускорения) зависит от отношения массы наковальни (с преобразователями, дополнительной массой, устройствами крепления) к массе поршня. Чем более упругий материал использован для прокладок, тем больше длительность ударного импульса. При заданной скорости движения поршня после соударения произведение амплитуды ускорения наковальни на длительность импульса является приблизительно постоянной величиной. При тонкой прокладке получаются короткие импульсы с большим пиковым значением. С увеличением толщины прокладки длительность импульса возрастает, а пиковое значение ускорения уменьшается. Площади под кривой ускорения для разных импульсов будут приблизительно одинаковы [4].

5.3 Калибраторы удара со стержнем Гопкинсона

5.3.1 Общие положения

Калибратор удара со стержнем Гопкинсона работает в диапазонах высоких ускорений (пиковые значения от 1 до 2000 км/с^2). Настоящий стандарт распространяется на диапазон от 100 м/с^2 до 100 км/с^2, что соответствует первичным методам ударной калибровки (см. ИСО 16063-13).

Стержень Гопкинсона обычно представляет собой длинный тонкий стержень с отношением длины к диаметру более 10. Наилучшие результаты для методов, установленных настоящим стандартом, могут быть получены при отношении длины к диаметру порядка 100. Для получения эталонных кривых характеристик удара (скорости, ускорения) калибратор со стержнем Гопкинсона может быть оснащен тензометром или лазерным допплеровским виброметром (LDV). С эталонными кривыми сравнивают результаты измерения удара калибруемым преобразователем. Калибратор с разрезным стержнем Гопкинсона используют для сравнения ускорения, полученного по измерению силы тензометром, с сигналом на выходе калибруемого преобразователя. Калибраторы со стержнем Гопкинсона могут быть использованы для калибровки в диапазоне ускорений до 2000 км/с^2. Теория распространения волн напряжения в стержне Гопкинсона изложена в [5], [6].

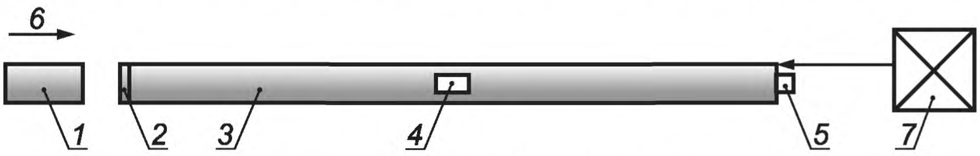
Для обеспечения прослеживаемости к первичным эталонам удара с целью подтверждения неопределенности эталонных кривых, используемых в калибраторах удара со стержнем Гопкинсона, должен использоваться эталонный преобразователь, калиброванный одним из первичных методов.

5.3.2 Калибратор со сравнением по сигналу скорости или ускорения

Калибровка преобразователя может быть осуществлена путем сравнения проинтегрированного выходного сигнала преобразователя с сигналом, полученным с помощью тензометра или лазерного доплеровского виброметра [7], [8]. Другим вариантом является калибровка по ускорению, при которой выходной сигнал преобразователя сравнивают с производной выходного сигнала тензометра или лазерного допплеровского виброметра [9], [10].

Схема калибратора удара со стержнем Гопкинсона показана на рисунке 6.

Подробно калибровка с использованием стержня Гопкинсона и эталона сравнения описана в [9].

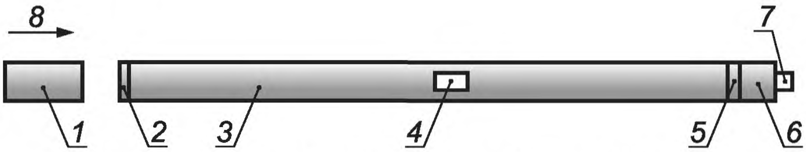


1 — ударник; *2* — формирователь формы импульса; *3* — стержень Гопкинсона; *4* — тензометр для получения эталонной кривой; *5* — калибруемый акселерометр; *6* — начальное движение ударника со скоростью v_0; *7* — лазерный виброметр для получения эталонной кривой

Рисунок 6 — Схема калибратора удара со стержнем Гопкинсона

5.3.3 Калибратор с разрезным стержнем Гопкинсона и датчиком силы

Работа калибратора удара с разрезным стержнем Гопкинсона основана на сравнении с эталонным сигналом ускорения или с продифференцированным сигналом напряжения. На рисунке 7 показана схема калибратора с алюминиевым разрезным стержнем Гопкинсона с отношением длины входного стержня к его диаметру более 10 [11], [12]. В отличие от схемы, описанной в 5.3.2 (см. также [7—10]), стержень Гопкинсона разрезан надвое, и калибруемый преобразователь установлен на конце выходного стержня. На противоположном конце выходной стержень граничит с датчиком силы, чувствительным элементом которого является диск толщиной 0,254 мм и диаметром 19 мм, полученный x-срезом кристалла кварца.



1 — ударник; *2* — формирователь формы импульса; *3* — входной стержень Гопкинсона; *4* — тензометр для получения эталонной кривой; *5* — кварцевая пластина толщиной 0,254 мм; *6* — выходной стержень в виде стального диска длиной 12,7 мм; *7* — калибруемый преобразователь; *8* — начальное движение ударника со скоростью v_0

Рисунок 7 — Схема калибратора удара с разрезным стержнем Гопкинсона

Принимая во внимание, что время прохождения волны напряжения, создаваемой ударником, достаточно велико, а длина стального диска (выходного стержня) мала, отклик выходного стержня (если он изготовлен из стали или вольфрама) может быть представлен как движение твердого тела [11]. Ускорение a твердого тела (стального диска) рассчитывают по результату измерения силы F датчиком силы с помощью второго закона Ньютона по формуле $F = ma$, где m — масса выходного стержня с кварцевым диском и калибруемым преобразователем, после чего расчетное ускорение сравнивают с измеренным калибруемым преобразователем. Для достижения плотного контакта датчика силы (кварцевого диска) с входным стержнем используют вакуумную манжету. Подробности аттестации калибратора удара с разрезным стержнем Гопкинсона приведены в [13].

5.4 Осциллограф

Для контроля формы выходного сигнала преобразователя должен быть использован осциллограф с двумя и более каналами с рабочим диапазоном частот как минимум от 0 до 1 МГц.

5.5 Регистратор сигнала с компьютерным интерфейсом

Для записи выходных сигналов двух преобразователей используют регистратор сигналов с компьютерным интерфейсом, аналого-цифровым преобразователем и памятью. Допускается в целях хранения выборок временных сигналов использовать компьютер с устройством аналого-цифрового преобразования. Разрешающая способность, частота выборки и объем памяти должны быть достаточными для обеспечения калибровки в заданном диапазоне с неопределенностью измерения, рассчитанной согласно приложению А.

Выходной сигнал преобразователя должен быть записан с разрешением 10 бит и более (предпочтительно 12 бит).

5.6 Компьютер для обработки данных

Для реализации программ обработки данных, полученных в процессе калибровки в соответствии с настоящим стандартом, используют компьютер или соответствующий анализатор.

5.7 Фильтры

Аналоговые фильтры, применяемые для подавления шумов в сигналах ускорения, должны иметь амплитудно-частотную и фазочастотную характеристики, обеспечивающие установленные требования к неопределенности измерения. Это требование должно выполняться также для цифровых фильтров.

5.8 Другие требования

Для достижения достаточно малой неопределенности измерения преобразователь и предусилитель следует рассматривать и калибровать как единое устройство. То же относится к датчику силы с чувствительным элементом в виде кварцевого диска и его усилителю.

Преобразователь удара должен иметь жесткую конструкцию. Чувствительность преобразователя к деформации основания, коэффициент преобразования в поперечном направлении и стабильность характеристик преобразователя с усилителем должны приниматься во внимание при расчете неопределенности измерения.

Если калибровка преобразователей выполняется в положении «спина к спине», то эталонный преобразователь должен быть предварительно калиброван с имитирующей массой, равной массе калибруемого преобразователя.

6 Условия окружающей среды

Калибровку проводят при следующих условиях окружающей среды:

a) комнатная температура (23 ± 3) °С;

b) относительная влажность не более 75 %.

7 Предпочтительные значения опорных ускорений и длительностей импульса

Номинальные пиковые значения ускорения и длительности импульса предпочтительно должны выбираться из следующих рядов:

a) ускорение, м/с^2: 100; 200; 500; 1000; 2000; 5000; 10 000; 20 000; 50 000; 100 000;

b) длительность ударного импульса (на уровне 10 % пикового значения), мс: 0,05; 0,07; 0,1; 0,2; 0,5; 1; 2; 3; 5; 8.

Примечание 1 — Для сигнала ускорения, воспроизводимого калибратором удара со стержнем Гопкинсона, могут быть заданы две различные длительности удара: для положительного и отрицательного полуимпульса (на уровнях, соответственно, плюс 10 % и минус 10 %).

Примечание 2 — Если используется эталонный преобразователь, калиброванный на ударном стенде по [21 (пункт 4.3)], то длительность ударного импульса, указанная в сертификате калибровки, представляет собой полное время удара, при котором скорость изменяется по гауссовскому закону. Таким образом, в сопоставимых условиях первичной (по скорости) и вторичной (по ускорению) калибровок длительности импульсов будут иметь разные значения, отличающиеся приблизительно вдвое.

8 Калибровка

8.1 Подготовка к испытаниям

Собирают испытательную установку, руководствуясь требованиями раздела 5.

Перед воспроизведением удара оценивают возможные искажающие воздействия, такие как дребезг и шум. Они должны быть достаточно малы, чтобы обеспечить требования к неопределенности измерения. Если выходные сигналы эталонного преобразователя $u_s(t)$ и калибруемого преобразователя $u_x(t)$ подвергают цифровой фильтрации, то частоты среза низкочастотных фильтров и, при их наличии, высокочастотных фильтров, должны быть выбраны так, чтобы искажающие влияния этих фильтров на результаты калибровки были в пределах допуска [14].

8.2 Сбор данных

При сборе данных необходимо обеспечить достаточно высокую частоту выборки и большой объем памяти хранения данных для соблюдения требований к неопределенности измерения. В соответствии с теоремой Найквиста частота выборки должна быть такой, чтобы наивысшая частота сигнала была меньше половины частоты выборки. Выборки сигналов опорного и калибруемого преобразователей, u_s и u_x соответственно, должны быть эквидистантными в течение периода измерения. Серии выборок $\{u_s(t_i)\}$ и $\{u_x(t_i)\}$ должны быть переданы в память компьютера.

Сбор данных должен начинаться за время T или более до нанесения удара и заканчиваться через время T или более после завершения удара, где T — длительность ударного импульса, выбранная в соответствии с разделом 7. Для калибратора удара со стержнем Гопкинсона интервал приема данных должен быть несколько расширен вплоть до момента получения отраженного импульса.

8.3 Обработка сигнала

8.3.1 Общие положения

Примеры методов обработки данных для вычисления коэффициента преобразования по удару как отношения пикового значения выходного сигнала преобразователя к пиковому значению ускорения приведены в 8.3.2 для калибраторов с наковальней и в 8.3.3 для калибраторов со стержнем Гопкинсона. Дополнительная информация содержится в [19], [20] и [21].

8.3.2 Вычисление коэффициента преобразования по удару при использовании калибраторов с наковальней

8.3.2.1 Вариант 1. Выбор максимального значения в качестве пикового значения

Этот вариант применим, если максимальные значения $\max\{u_s(t_i)\}$ и $\max\{u_x(t_i)\}$ двух выборок выходных сигналов могут рассматриваться как достаточно точные оценки пиковых значений $u_{s,\,peak}$, $u_{x,\,peak}$ после низкочастотной фильтрации.

Отфильтрованные выходные сигналы представляют собой сглаженные кривые с малыми шумовыми искажениями и наложенными колебаниями («звоном») из-за резонансов. «Звон» может вызываться любым резонансом в ударном механизме, эталонном или калибруемом преобразователе, возбуждаемым при ударе.

Коэффициент преобразования по удару должен вычисляться на основе обработки данных в последовательности этапов от а) до е). Данная процедура включает в себя этапы а) и с) цифровой низкочастотной фильтрации, которые могут быть опущены в случае достаточно гладкой выборки.

а) Осуществляют цифровую низкочастотную фильтрацию выходного сигнала эталонного преобразователя $\{u_{s,D}(t_i)\}$. Параметры фильтра должны обеспечивать подавление «звонов» и высокочастотных шумов без искажения полезного сигнала. Результатом фильтрации будет сглаженный оцифрованный сигнал $\{u_s(t_i)\}$.

Примечание 1 — Применяемый фильтр должен обладать максимально плоской частотной характеристикой, каким является, например, рекурсивный низкочастотный фильтр Баттерворта 4-го порядка. При этом необходимо обеспечить компенсацию вносимых им фазовых искажений.

b) Из серии $\{u_s(t_i)\}$ значений сглаженного выходного сигнала преобразователя выбирают максимальное значение $\max\{u_s(t_i)\}$ в качестве пикового значения $u_{s,\,peak}$.

Если сигнал имеет сдвиг нуля, то точка нуля непосредственно перед ударом и сдвинутая точка нуля сразу после удара должны быть соединены прямой линией, которая будет нулевой линией для определения выходного сигнала. Максимально допустимый сдвиг нуля выходного сигнала равен 1 % пикового значения этого сигнала. Если сдвиг нуля больше 1 %, то необходимо учесть его влияние на неопределенность измерения. Такой сдвиг должен быть зафиксирован в протоколе калибровки.

При использовании некоторых ударных стендов характерно «загрязнение» выходного сигнала наложенными гармоническими колебаниями («звоном»). В этом случае точка нуля, определенная непосредственно перед ударом, может служить основой для определения выходного сигнала, а возможное влияние на результат калибровки должно быть учтено при составлении бюджета неопределенности.

с) Процедуру этапа а) повторяют для калибруемого преобразователя с искаженным выходным сигналом $\{u_{X,D}(t_i)\}$. Результатом фильтрации будет сглаженный оцифрованный сигнал $\{u_X(t_i)\}$.

d) Процедуру этапа b) повторяют для калибруемого преобразователя. Максимальное значение выборки принимают за $u_{X,\,peak}$.

е) На основе данных, полученных при выполнении этапов b) и d), вычисляют коэффициент преобразования по удару S_{sh} по формуле

$$S_{sh} = S_S \frac{u_{X,peak}}{u_{S,peak}}, \tag{1}$$

где S_S — коэффициент преобразования по удару эталонного преобразователя.

Примечание 2 — Для упрощения в обозначении коэффициента преобразования калибруемого преобразователя опущен подстрочный индекс X, т. е. использована запись S_{sh} вместо $S_{X,\,sh}$.

При представлении результатов калибровки должна быть вычислена в соответствии с приложением А и указана расширенная неопределенность.

Если перед процедурой оцифровки выходных сигналов преобразователей используется аналоговая фильтрация, то этапы цифровой фильтрации а) и с) могут быть опущены.

8.3.2.2 Вариант 2. Аппроксимация временного сигнала полиномом

Этот вариант применяют, если максимальные значения $\max\{u_s(t_i)\}$ и $\max\{u_X(t_i)\}$ в двух сериях выборочных значений выходных сигналов недостаточно точно представляют пиковые значения $u_{s,\,peak}$, $u_{X,\,peak}$. Вариант рекомендуется применять, если выборки сигналов эталонного и калибруемого преобразователей $\{u_s(t_i)\}$ и $\{u_X(t_i)\}$ искажены шумом или резонансными колебаниями («звоном»), и нет оснований отдать предпочтение цифровой фильтрации в соответствии с вариантом 1 или преобразованию Фурье в соответствии с вариантом 3.

Примечание — Причинами, по которым предпочтение может быть отдано варианту 2, являются недостаточный объем выборки для применения цифровой фильтрации варианта 1 или слишком большие затраты времени на вычисления по варианту 3.

Коэффициент преобразования по удару должен вычисляться на основе обработки данных в последовательности этапов от а) до g).

а) Определяют интервал аппроксимации в окрестности пикового значения выборки выходного сигнала эталонного преобразователя $\{u_s(t_i)\}$.

Примечание — В серии $\{u_s(t_i)\}$ определяют максимальное значение $\max\{u_s(t_i)\}$ и в окрестности точки максимума формируют выборку $\{u_s(t_i)\}_{app}$, куда входят все последовательные точки, значения в которых превышают $\alpha \cdot \max\{u_s(t_i)\}$. В качестве коэффициента α можно взять α = 0,9 (предпочтительный выбор) или α = 0,95.

b) Кривую, представленную выборочными значениями $\{u_s(t_i)\}_{app}$, аппроксимируют полиномом второго порядка, имеющим вид:

$$u_s(t) = b_{s,2}t^2 + b_{s,1}t + b_{s,0}. \tag{2}$$

Константы $b_{s,0}$, $b_{s,1}$, $b_{s,2}$ находят методом наименьших квадратов.

c) По полученным значениям $b_{s,0}$, $b_{s,1}$, $b_{s,2}$ вычисляют пиковое значение $u_{s,peak}$ по формуле

$$u_{s,peak} = b_{s,0} - \frac{b_{S,1}^2}{4b_{S,2}}. \tag{3}$$

[См. 8.3.2.1, этап b)].

d) Повторяют этап а) для выборки сигнала калибруемого преобразователя и формируют выборку $\{u_X(t_i)\}_{app}$.

e) Повторяют этап b) для выборки $\{u_X(t_i)\}_{app}$. Получают константы $b_{X,0}$, $b_{X,1}$, $b_{X,2}$.

f) Повторяют этап c) для полученных констант $b_{X,0}$, $b_{X,1}$, $b_{X,2}$. Получают пиковое значение $u_{s,peak}$ выходного сигнала калибруемого преобразователя.

a) На основе $u_{s,peak}$ и $u_{X,peak}$ полученных при выполнении этапов c) и f), вычисляют коэффициент преобразования по удару S_{sh} по формуле (1).

8.3.2.3 Вариант 3. Вычисление коэффициента преобразования с использованием быстрого преобразования Фурье (БПФ-анализа)

Этот вариант может быть использован для вычисления:

- комплексного коэффициента преобразования $S(j\,\omega)$ или модуля и фазового сдвига коэффициента преобразования калибруемого преобразователя, возбуждаемого ударом при произвольном пиковом значении ускорения, или

- коэффициента преобразования по удару S_{peak}, определяемого формулой (1).

Вариант применим, если комплексный коэффициент преобразования эталонного преобразователя известен во всем диапазоне частот, возбуждаемых при ударе. Комплексный коэффициент преобразования эталонного преобразователя может быть определен методами первичной ударной калибровки в соответствии с [21], приложение С. Если известно, что эталонный преобразователь имеет линейный отклик в диапазоне амплитуд удара, то первичная ударная калибровка может быть заменена первичной вибрационной калибровкой в соответствии с [9] или [10] или вторичной вибрационной калибровкой в соответствии с [22].

Поскольку реальный отклик преобразователя всегда обладает некоторой нелинейностью, соответствующий источник неопределенности должен быть включен в бюджет неопределенности.

Комплексный коэффициент преобразования $S(j\,\omega)$ и коэффициент преобразования по удару S_{peak} преобразователя определяют последовательным выполнением этапов от a) до g) и от a) до i) соответственно.

a) Выполняют m повторных измерений (т. е. получают m выборок) $\{u_s(t_i)\}_k$, $\{u_X(t_i)\}_k$, k = 1, 2,..., m.

Примечание — Период сигнала, на котором получена выборка, определяет разрешение по частоте. Например, если выборка получена на интервале времени 80 мс, то разрешение по частоте будет 12,5 Гц.

b) Для полученных выборок выполняют Фурье-преобразование с помощью процедур быстрого преобразования Фурье (БПФ) или дискретного преобразования Фурье (ДПФ) с использованием подходящей оконной функции (см. ИСО 18431-2 для оконной функции прямоугольной формы).

c) Данные повторных измерений усредняют в частотной области для получения усредненных спектров $u_s(j\,\omega)$ и $u_X(j\,\omega)$ выходных сигналов эталонного и калибруемого преобразователей соответственно.

d) Вычисляют комплексный коэффициент преобразования калибруемого преобразователя по формуле

$$S_X(j\,\omega) = S_s(j\,\omega)\,\frac{u_X(j\,\omega)}{u_S(j\,\omega)}. \tag{4}$$

e) Вычисляют функцию когерентности γ и проверяют ее соответствие минимально допустимому значению.

Примечание — Желательно, чтобы функция когерентности γ превышала 0,99. Меньшее значение допустимо только в том случае, если составляющая неопределенности, обуславливающая падение значения функции когерентности, выявлена и учтена при расчете неопределенности измерения.

f) Вычисляют спектр комплексного ускорения по формуле

$$a(j\omega) = \frac{u_S(j\omega)}{S_S(j\omega)}. \tag{5}$$

g) Преобразуют усредненный спектр $u_X(j\omega)$ во временной сигнал при помощи обратного преобразования Фурье (ОПФ) или обратного цифрового преобразования Фурье (ОЦПФ) для получения серии мгновенных значений выходного сигнала калибруемого преобразователя $u_X(t_i)$ и соответствующих значений ускорения $a(t_i)$.

h) Из серий $\{u_X(t_i)\}$ и $\{a(t_i)\}$, полученных на этапе g), выбирают максимальные значения $\max\{u_X(t_i)\}$ и $\max\{a(t_i)\}$, которые принимают в качестве пиковых значений $u_{X,\,peak}$ и a_{peak}.

i) На основе значений $u_{X,\,peak}$ и a_{peak}, полученных на этапе h), вычисляют коэффициент преобразования по удару S_{sh} по формуле

$$S_{sh} = \frac{u_{X,peak}}{a_{peak}}. \tag{6}$$

8.3.3 Вычисление коэффициента преобразования по удару при использовании калибраторов со стержнем Гопкинсона.

8.3.3.1 Общие положения

Вариант 1 (8.3.2.1) и вариант 2 (8.3.2.2) используют для вычисления коэффициента преобразования по удару при использовании калибраторов удара со стержнем Гопкинсона, если две сравниваемые величины получены в одинаковых единицах.

8.3.3.2 Вычисление коэффициента преобразования сравнением по скорости

При использовании данного метода выполняют измерение эталонного сигнала скорости при помощи тензометра или лазерного допплеровского виброметра. Ускорение, измеряемое калибруемым преобразователем, преобразуют в сигнал скорости интегрированием. Поскольку интегрирование само по себе является сглаживающей процедурой, необходимости в применении дополнительных процедур сглаживания нет. Для вычисления коэффициента преобразования может использоваться вариант 1 (см. 8.3.2.1) или вариант 2 (см. 8.3.2.2) с заменой пиковых значений ускорений пиковыми значениями скорости.

8.3.3.3 Вычисление коэффициента преобразования сравнением по ускорению

При использовании данного метода выполняют измерение эталонного сигнала скорости при помощи тензометра или лазерного допплеровского виброметра, который затем должен быть преобразован в сигнал ускорения путем дифференцирования во временной или частотной области. В общем случае для устранения шумов рекомендуется применять низкочастотную фильтрацию сигнала скорости до и после выполнения процедуры дифференцирования. Частоту среза низкочастотного фильтра выбирают достаточно высокой, чтобы процесс фильтрации не оказывал влияния в пределах требуемой полосы пропускания. Для вычисления коэффициента преобразования по пиковым значениям ускорения может быть использован вариант 1 (см. 8.3.2.1) или вариант 2 (см. 8.3.2.2).

8.3.3.4 Вычисление коэффициента преобразования с использованием разрезного стержня Гопкинсона и датчика силы

В данном методе эталонный сигнал ускорения получают делением измеренной с помощью кварцевого диска силы на массу, состоящую из масс кристалла кварца, выходного стержня и калибруемого преобразователя. Для вычисления коэффициента преобразования по пиковым значениям ускорения могут быть использованы вариант 1 (см. 8.3.2.1) или вариант 2 (см. 8.3.2.2).

9 Представление результатов калибровки

При представлении результатов калибровки, кроме указания метода калибровки, должны быть приведены по меньшей мере следующие сведения:

a) условия окружающей среды:

- температура окружающего воздуха;

b) способ установки:
- материал монтажной поверхности,
- момент затяжки (если акселерометр крепится на шпильке),
- масло или смазка (если используется),
- способ закрепления кабеля,
- ориентация преобразователя (относительно вертикальной или горизонтальной оси);
c) имитирующая масса (если используется):
- материал (например, сталь), размеры (длина, диаметр), масса,
- момент затяжки;
d) результаты калибровки:
- пиковое значение и длительность ударного импульса,
- значение коэффициента преобразования по удару,
- расширенная неопределенность, коэффициент охвата k.

Приложение А
(обязательное)

Расчет неопределенности измерения при калибровке

А.1 Вычисление расширенной неопределенности $U_{rel}(S_{sh})$ коэффициента преобразования по удару S_{sh} для заданных пиковых значений ускорения, длительности ударного импульса, усилении и частотах среза усилителя

Относительная расширенная неопределенность коэффициента преобразования по удару $U_{rel}(S_{sh})$ при пиковом значении ускорения, длительности ударного импульса, усилении и частотах среза усилителя должна вычисляться в соответствии с ИСО 16063-1 по формулам:

$$U_{rel}(S_{sh}) = ku_{c,\,rel}(S_{sh}),$$

$$u_{c,\,rel}(S_{sh}) = \frac{u_c(S_{sh})}{S_{sh}} = \frac{1}{S_{sh}}\sqrt{\sum_i u_i^2(S_{sh})}$$

с коэффициентом охвата k = 2 (см. таблицу А.1).

Источники неопределенности могут определяться и нумероваться иным способом, чем принят в таблице А.1, при условии, что каждое воздействие, значительно влияющее на результат измерения, учтено в соответствии с ИСО 16063-1 (приложение А).

Таблица А.1

i	Составляющая стандартной неопределенности $u(x_i)$	Источник неопределенности	Вклад в неопределенность $u_i(y)$
1	$u(S_{sh,\,S})$	Суммарная стандартная неопределенность для эталонного преобразователя в заданных условиях испытаний	$u_1(S_{sh})$
2	$u(G)$	Отношение G коэффициентов усиления предусилителей ($G = G_S/G_X$)	$u_2(S_{sh})$
3	$u(R_V)$	Измерение отношения пиковых значений электрического напряжения (регистратор сигналов, разрешение АЦП)	$u_3(S_{sh})$
4	$u(R_I)$	Нестабильность эталонного преобразователя во времени	$u_4(S_{sh})$
5	$u(R_F)$	Влияние фильтрации сигнала напряжения на результат измерения отношения пиковых значений напряжений (ограничение полосы частот)	$u_5(S_{sh})$
6	$u(R_{VD})$	Влияние искажения напряжения на результат измерения отношения пиковых значений напряжений (например, случайный шум в измерительной цепи фотодетектора)	$u_6(S_{sh})$
7	$u(R_T)$	Влияние поперечного и углового ускорения на результат измерения отношения пиковых значений напряжений	$u_7(S_{sh})$
8	$u(R_M)$	Влияние способа монтажа преобразователя (момент затяжки, фиксация кабеля, имитирующая масса и т. п.) на результат измерения отношения пиковых значений напряжений	$u_8(S_{sh})$
9	$u(R_E)$	Влияние температуры и других условий окружающей среды на результат измерения отношения пиковых значений напряжений	$u_9(S_{sh})$
10	$u(R_{MD})$	Влияние искажения движения на результат измерения отношения пиковых значений напряжений (например, относительное движение монтажных поверхностей преобразователей)	$u_{10}(S_{sh})$
11	$u(R_L)$	Влияние нелинейностей и других остаточных эффектов на результат измерения отношения пиковых значений напряжений	$u_{11}(S_{sh})$

Окончание таблицы А.1

i	Составляющая стандартной неопределенности $u(x_i)$	Источник неопределенности	Вклад в неопределенность $u_i(y)$
12	$u(S_{sh,\,RE})$	Остаточное влияние на результат измерения коэффициента преобразования по удару (влияние резонансного возбуждения в преобразователе или ударном механизме; случайные влияния при повторных измерениях; экспериментальное стандартное отклонение и среднее арифметическое)	$u_{12}(S_{sh})$

А.2 Вычисление расширенной неопределенности $U_{rel}(S_{sh,\,t})$ коэффициента преобразования по удару $S_{sh,\,t}$ для диапазона пиковых значений ускорения и длительности импульсов

Расширенная неопределенность коэффициента преобразования по удару $U_{rel}(S_{sh})$, вычисленная в соответствии с А.1, действительна только для определенного пикового значения, длительности импульса, усиления и частоты среза фильтров. Относительная расширенная неопределенность коэффициента преобразования $U_{rel}(S_{sh,\,t})$ для полного диапазона пиковых значений ускорений и длительности ударных импульсов в любое время в течение интервала между последовательными калибровками должна вычисляться в соответствии с ИСО 16063-1 по формулам

$$U_{rel}(S_{sh,\,t}) = ku_{c,\,rel}(S_{sh,\,t}),$$

$$U_{c,\,rel}(S_{sh,\,t}) = \frac{u_c(S_{sh,t})}{S_{sh}} = \frac{1}{S_{sh}}\sqrt{\sum_i u_i^2(S_{sh,t})})$$

с коэффициентом охвата k = 2 (см. таблицу А.2).

Источники неопределенности могут определяться и нумероваться иным способом, чем в таблице А.2, при условии, что каждое воздействие, значительно влияющее на результат измерения, учтено в соответствии с ИСО 16063-1 (приложение А).

Таблица А.2

i	Составляющая стандартной неопределенности $u(x_i)$	Источник неопределенности	Вклад в неопределенность $u_i(y)$
1	$u(S_{sh})$	Неопределенность коэффициента преобразования по удару, вычисленная при опорных пиковых значениях ускорения, длительности ударного импульса и усилении усилителя в соответствии с А.1	$u_1(S_{sh,\,t})$
2	$u(e_{T,\,A})$	Изменение коэффициента усиления предусилителя (девиация коэффициента усиления и фазового сдвига для различных настроек коэффициента усиления)	$u_2(S_{sh,\,t})$
3	$u(e_{L,\,f,\,A})$	Отклонение от постоянной амплитудно-частотной характеристики и линейной фазочастотной характеристики предусилителя	$u_3(S_{sh,\,t})$
4	$u(e_{L,\,f,\,T})$	Отклонение от постоянной амплитудно-частотной характеристики и линейной фазочастотной характеристики эталонного преобразователя	$u_4(S_{sh,\,t})$
5	$u(e_{L,\,a,\,A})$	Зависимость коэффициента усиления от измеряемого пикового значения ускорения	$u_5(S_{sh,\,t})$
6	$u(e_{L,\,a,\,T})$	Зависимость коэффициента преобразования преобразователя от измеряемого пикового значения ускорения	$u_6(S_{sh,\,t})$
7	$u(e_{I,\,A})$	Нестабильность усиления предусилителя и влияние импеданса источника на коэффициент усиления и фазовый сдвиг	$u_7(S_{sh,\,t})$
8	$u(e_{I,\,T})$	Нестабильность коэффициента преобразования преобразователя (модуля и фазового сдвига)	$u_8(S_{sh,\,t})$

Окончание таблицы А.1

i	Составляющая стандартной неопределенности $u(x_i)$	Источник неопределенности	Вклад в неопределенность $u_i(y)$
9	$u(e_{E,\,A})$	Влияние окружающих условий на коэффициент усиления и фазовый сдвиг предусилителя	$u_9(S_{sh,\,t})$
10	$u(e_{E,\,T})$	Влияние окружающих условий на коэффициент преобразования (модуль и фазовый сдвиг) эталонного преобразователя	$u_{10}(S_{sh,\,t})$

Приложение В
(справочное)

Примеры расчетов неопределенности измерения при калибровке

Примеры расчетов неопределенности приведены в таблицах В.1—В.3. Числовые значения в таблицах округлены.

Таблица В.1 — Калибратор с пневматическим поршнем ([4])

Описание составляющей неопределенности	Относительная стандартная неопределенность, %	
	Пиковые значения ускорения от 0,2 до 2 км/с^2; длительность удара от 0,5 до 3 мс	Пиковые значения ускорения от 2 до 100 км/с^2; длительность удара от 0,05 до 0,1 мс
А. Эталонный преобразователь		
Коэффициент преобразования	0,5	0,5
Относительное движение	0,25	0,5
Угловое/поперечное движение[a]	0,15	0,3
Температура	0,2	0,2
Стабильность коэффициента преобразования	0,1	0,1
Линейность по амплитуде	0,05	0,25
В. Калибруемый преобразователь		
Деформация основания/монтаж	0,2	0,2
Угловое/поперечное движение	0,15	0,3
Механические напряжения в кабеле	0,1	0,2
Температура	0,5	0,5
Частотная характеристика[b]	0,0	0,0
С. Усиление/формирование сигнала		
Линейность усилителя	0,1	0,1
Неопределенность коэффициента усиления	0,2	0,2
Частотная характеристика	0,1	0,5
Температура	0,1	0,1
D. Алгоритм		
Искажение пикового значения	0,2	0,5
Нулевая базовая линия	0,2	0,2
Шум в области пикового значения	0,05	0,05
Относительная суммарная стандартная неопределенность	0,9	1,7

Окончание таблицы В.1

Описание составляющей неопределенности	Относительная стандартная неопределенность, %	
	Пиковые значения ускорения от 0,2 до 2 км/с^2; длительность удара от 0,5 до 3 мс	Пиковые значения ускорения от 2 до 100 км/с^2; длительность удара от 0,05 до 0,1 мс
Относительная расширенная неопределенность U (k = 2)	1,9	3,5

[a] Дополнительные массы на наковальне, ассиметричные преобразователи или силы от кабеля могут значительно увеличить поперечные движения.

[b] Многие пьезоэлектрические преобразователи имеют наклонную частотную характеристику. Набор частотных составляющих, определяемый различными длительностями импульса, является причиной отличия коэффициента преобразования от общепринятого коэффициента преобразования по вибрации на частоте 100 Гц. Это отличие не рассматривают как неопределенность измерения.

Таблица В.2 — Калибратор со стержнем Гопкинсона и сравнением по скорости (для пикового значения ускорения 100 км/с^2 и длительности удара 0,3 мс) ([4])

Описание составляющей неопределенности	Относительная стандартная неопределенность, %
А. Эталонное измерение скорости (тензометром)	
Коэффициент преобразования	2,0
Стабильность напряжения возбуждения	0,2
Ослабление, дисперсия волн в стержне	0,5
Температура	0,5
Стабильность коэффициента преобразования	0,1
Нелинейность тензометра	0,1
Соединение кабеля	0,2
В. Калибруемый преобразователь	
Деформация основания/монтаж	0,5
Угловое/поперечное движение	0,5
Механические напряжения в кабеле	0,2
Температура	0,5
Частотная характеристика[a]	0,5
С. Усиление/формирование сигнала	
Линейность усилителя	0,1
Неопределенность коэффициента усиления	0,2
Частотная характеристика	0,5
Температура	0,1
D. Алгоритм	
Ноль калибруемого преобразователя, интегрирование	1,0
Нелинейность калибруемого преобразователя	0,5

Окончание таблицы В.2

Описание составляющей неопределенности	Относительная стандартная неопределенность, %
Линия нулевого уровня	0,2
Шум в области пикового значения	0,05
Относительная суммарная стандартная неопределенность	2,7
Относительная расширенная неопределенность U (k = 2)	5,4
[a] Многие пьезоэлектрические преобразователи имеют наклонную частотную характеристику. Набор частотных составляющих, определяемый различными длительностями импульса является причиной отличия коэффициента преобразования по вибрации на частоте 100 Гц. Это отличие не рассматривают как неопределенность измерения.	
Примечание — Процедура определения неопределенности измерения описана в ИСО 16063-1 (приложение А).	

Таблица В.3 — Калибратор с разрезным стержнем Гопкинсона и датчиком силы ([13])

Описание составляющей неопределенности	Относительная стандартная неопределенность, %
А. Эталонный кварцевый преобразователь	
Пьезоэлектрический модуль d_{11} для кварца х-среза (изменчивость, ориентация, температура)	2,7
Подгонка кварцевого диска к торцам стержней	—
Механические характеристики кварца (зависимость напряжения от деформации и пр.)	1,0
Измерение движущейся с ускорением массы (кварц, стальной диск, калибруемый преобразователь)	0,3
Предусилитель/усилитель (калибровка в условиях использования, линейность по напряжению и частоте, стабильность между калибровками)	0,7
Регистратор (разрешающая способность, частотная характеристика, стабильность)	0,3
Алгоритм отсчета пикового значения (процедура, шум)	0,1
В. Калибруемый преобразователь	
Установка	—
Предусилитель/устройство формирования (калибровка в условиях использования, линейность по напряжению и частоте, стабильность между калибровками)	—
Регистратор (разрешающая способность, частотная характеристика, стабильность)	0,3
Поперечный коэффициент преобразования и резонансы	—
Алгоритм отсчета пикового значения (процедура, шум)	0,1
Потери в передаче энергии выше частоты среза фильтра	~ 3
Случайные изменения коэффициента преобразования	2,5
Относительная суммарная стандартная неопределенность	5,0
Относительная расширенная неопределенность U (k = 2)	10,0
Примечание — Процедура определения неопределенности измерения описана в ИСО 16063-1 (приложение А).	

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов ссылочным национальным стандартам Российской Федерации (и действующим в этом качестве межгосударственным стандартам)

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего национального стандарта
ИСО 2041	IDT	ГОСТ Р ИСО 2041—2012 «Вибрация, удар и контроль технического состояния. Термины и определения»
ИСО 5347-22	—	*
ИСО 16063-1:1998	IDT	ГОСТ ИСО 16063-1—2009 «Вибрация. Методы калибровки датчиков вибрации и удара. Часть 1. Общие положения»
ИСО 18431-2	—	*

* Соответствующий национальный стандарт отсутствует. До его утверждения рекомендуется использовать перевод на русский язык данного международного стандарта. Перевод данного международного стандарта находится в Федеральном информационном фонде технических регламентов и стандартов.

Примечание — В настоящей таблице использовано следующее условное обозначение степени соответствия стандартов:
- IDT — идентичные стандарты.

Библиография

[1] VON MARTENS, H.-J. Metrology and traceability of vibration and shock measurements. Handbook of Noise and Vibration Control, Edit. Malcolm J. Crocker, Chapter 49a, John Wiley & Sons, New York

[2] TILLETT, J.P.A. A Study of the Impact on Spheres of Plates. Proceedings of the Physical Society, 1954, Section B, 67, pp. 677—685

[3] EVANS, D.J. Testing the Sensitivity of Accelerometers Using Mechanical Shock Pulses Under NIST — Special Publication 250, Special Test No. 24040S. Proceedings of the 1995 International Mechanical Engineering Congress and Exposition. San Francisco, CA, November 1995, pp. 12—177

[4] SILL, R.D. ENDEVCO Automatic Acceleration Calibration System, Model 2925, Comparison Shock Calibrator (POP). website: http://www.endevco.com/

[5] DAVIES, R.A. Critical Study of the Hopkinson Pressure Bar. Philosophical Transactions, Series A, Royal Society of London, 240, pp. 352—375, January 8, 1948

[6] KOLSKY, H. Stress Waves in Solids. Oxford University Press, 1953

[7] SILL, R.D. Testing Techniques Involved with the Development of High Shock Acceleration Sensors. Endevco Tech. Paper, TP 284, San Juan Capistrano, CA, 1983

[8] SILL, R.D. Shock Calibration of Accelerometers at Amplitudes to 100,000 G using Compression Waves. Endevco Tech. Paper, TP 283, San Juan Capistrano, CA, 1983

[9] BATEMAN, V.I., LEISHER, W.B., BROWN, F.A. and DAVIE, N.T. Calibration of a Hopkinson Bar with a Transfer Standard. Shock and Vibration, 1993, 1, No. 2, 1993, pp. 145—152

[10] BATEMAN, V.I., HANSCHE, B.D. and SOLOMON, O.M. Use of a Laser Doppler Vibrometer for High Frequency Accelerometer Characterizations. Proceedings of the 66th Shock and Vibration Symposium, I, Biloxi, MS, November 1995

[11] TOGAMI, T.C., BAKER, W.E. and FORRESTAL, M.J. A Split Hopkinson Bar Technique to Evaluate the Performance of Accelerometers. Journal of Applied Mechanics, 1996, 63, pp. 353—356

[12] TOGAMI, T.C., BATEMAN, V.I. and BROWN, F.A. Evaluation of a Hopkinson bar Fly-away Technique for High Amplitude Shock Accelerometer Calibration. Proceedings of the 68th Shock and Vibration Symposium. Vol. I, Hunt Valley, MD, November 1997

[13] BATEMAN, V.I. and THATCHER, P.D. Certification of 200,000 g Shock Calibration Technique for Sensors. Journal of the IEST, 45, 2002, pp. 121—128

[14] LINK, A. VON MARTENS, H.-J. and WABINSKI W. New method for absolute shock calibration of accelerometers. Proceedings of the 3rd International Conference «Vibration Measurements by Laser Techniques: Advances and Applications». SPIE Volume 3411, 1998

[15] MÜLLER, H. Stoßförmige Kalibrierung von Beschleunigungsaufnehmem nach dem Vergleichsverfahren. Dissertation, TU Braunschweig und Volkswagen AG Wolfsburg, 2001 (http://opus.tu-bs.de/opus/volltexte/2001/227)

[16] ISO 5348, Mechanical vibration and shock — Mechanical mounting of accelerometers

[17] ISO 8042, Shock and vibration measurements — Characteristics to be specified for seismic pick-ups

[18] ISO 9001, Quality management systems — Requirements

[19] ISO 16063-11, Methods for the calibration of vibration and shock transducers — Part 11: Primary vibration calibration by laser interferometry

[20] ISO 16063-12, Methods for the calibration of vibration and shock transducers — Part 12: Primary vibration calibration by the reciprocity method

[21] ISO 16063-13:2001, Methods for the calibration of vibration and shock transducers — Part 13: Primary shock calibration using laser interferometry

[22] ISO 16063-21, Methods for the calibration of vibration and shock transducers — Part 21: Vibration calibration by comparison to a reference transducer

[23] ISO/IEC 17025, General requirements for the competence of testing and calibration laboratories

УДК 620.178.5.05:006.354 ОКС 17.160 П18

Ключевые слова: вибрация, удар, преобразователи, калибровка, метод сравнения, эталонный преобразователь, неопределенность измерения

Редактор *Б.Н. Колесов*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *В.И. Варенцова*
Компьютерная верстка *О.Д. Черепковой*

Сдано в набор 21.11.2014. Подписано в печать 08.12.2014. Формат 60х84 $^1/_8$. Гарнитура Ариал. Усл. печ. л. 2,79.
Уч.-изд. л. 2,40. Тираж 57 экз. Зак. 4932.

Издано и отпечатано во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123995 Москва, Гранатный пер., 4.
www.gostinfo.ru info@gostinfo.ru