ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 59701.1— 2022 (ИСО 8041-1:2017)

Вибрация

СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ОБЩЕЙ И ЛОКАЛЬНОЙ ВИБРАЦИИ

Часть 1

Виброметры общего назначения

(ISO 8041-1:2017, Human response to vibration — Measuring instrumentation — Part 1: General purpose vibration meters, MOD)

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2022

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Обществом с ограниченной ответственностью «Производственно-коммерческая фирма «Цифровые приборы» (ООО «ПКФ «Цифровые приборы») и Закрытым акционерным обществом «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем» (ЗАО «НИЦ КД») на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 4

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 4 августа 2022 г. № 733-ст

4 Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к международному стандарту ИСО 8041-1:2017 «Воздействие вибрации на человека. Средства измерений. Часть 1. Виброметры общего назначения» (ISO 8041-1:2017 «Human response to vibration — Measuring instrumentation — Part 1: General purpose vibration meters», MOD). При этом в него не включено приложение I «Руководство по оценке инструментальной неопределенности измерения» по причинам, указанным во введении к настоящему стандарту.

Наименование настоящего стандарта изменено относительно наименования указанного международного стандарта для увязки с наименованиями, принятыми в существующем комплексе национальных стандартов.

Сведения о соответствии ссылочных национальных и межгосударственных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном международном стандарте, приведены в дополнительном приложении ДА.

Приложение примененного международного стандарта, не включенное в основную часть настоящего стандарта, приведено в дополнительном приложении ДБ

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». 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.e-ecolog.ru

© ISO, 2017
© Оформление. ФГБУ «РСТ», 2022

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины, определения, обозначения и сокращения 2
4 Нормальные условия измерений 6
5 Требования к характеристикам средства измерений 6
6 Крепление преобразователя вибрации 18
7 Внешние воздействия и электромагнитная совместимость 18
8 Использование вспомогательных устройств 21
9 Маркировка 21
10 Техническая документация 21
11 Виды испытаний 21
12 Испытания для целей утверждения типа 23
13 Испытания единичного образца 35
14 Периодические испытания 41
15 Проверка на месте применения 44
Приложение А (обязательное) Требования к вибрационному калибратору 46
Приложение В (справочное) Частотная коррекция 48
Приложение С (справочное) Реализация фильтров частотной коррекции 66
Приложение D (справочное) Измерение текущего среднеквадратичного значения корректированного ускорения 69
Приложение Е (рекомендуемое) Характеристики преобразователя вибрации 71
Приложение F (рекомендуемое) Испытания системы крепления преобразователя вибрации 74
Приложение G (обязательное) Техническая документация 77
Приложение Н (обязательное) Требования к фазочастотной характеристике 81
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных национальных и межгосударственных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном международном стандарте 87
Приложение ДБ (справочное) Руководство по оценке инструментальной неопределенности измерения (исключенное приложение I примененного международного стандарта) 88
Библиография 93

Введение

Еще в начале XXI века средства измерений, используемые для оценки вибрационного воздействия на человека (виброметры), обычно состояли из устройства обработки сигнала с присоединяемым преобразователем вибрации. Однако последующее развитие технологии привело к тому, что часть функций обработки сигнала реализуется в самом преобразователе, что делает невозможным отдельное выделение сигнала от чувствительного элемента преобразователя. К числу таких преобразователей нового поколения относятся, например, пьезоакселерометры со встроенной электроникой и микроэлектромеханические емкостные преобразователи.

Тем не менее некоторые испытания, установленные настоящим стандартом, предполагают доступ к сигналу от чувствительного элемента преобразователя (электрический вход виброметра). Поскольку наличие такого доступа не является обязательным для современных средств измерений, эти испытания могут быть проведены только в отношении тех средств, для которых этот доступ имеется или которые допускают внесение технических изменений в конструкцию для его обеспечения. В противном случае указанные испытания должны быть проведены с использованием механического входного воздействия, что в ряде случаев требует внесения поправок в метод испытаний. Рассмотрение таких поправок, однако, не входит в область применения настоящего стандарта.

Некоторые испытания (см., например, 5.13) предполагают наличие у виброметра электрического выхода. Поскольку наличие такого выхода также не является обязательным, указанные испытания проводят только в отношении виброметров с электрическим выходом или тех, которые допускают внесение технических изменений в конструкцию для доступа к выходному сигналу (соответствующей точке электрической цепи).

Периодические испытания, проводимые с целью подтверждения заявленных характеристик, выбраны таким образом, чтобы сделать их более практичными, обеспечивающими подтверждение соответствия метрологических характеристик виброметра его предполагаемому использованию без излишних затрат для пользователя. Поэтому объем испытаний данного вида существенно меньше по сравнению с испытаниями для целей утверждения типа и включает в себя определение только наиболее существенных характеристик виброметра.

Из основного текста настоящего стандарта исключено приложение I «Руководство по оценке инструментальной неопределенности измерения» примененного международного стандарта ИСО 8041-1:2017, которое основано на подходе, не в полной степени соответствующем требованиям ГОСТ 34100.3. Пользователям настоящего стандарта для расчета инструментальной неопределенности рекомендуется обращаться к руководству ГОСТ 34100.3.

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Вибрация

СРЕДСТВА ИЗМЕРЕНИЙ ОБЩЕЙ И ЛОКАЛЬНОЙ ВИБРАЦИИ

Часть 1

Виброметры общего назначения

Mechanical vibration. Instrumentation for measuring whole-body and hand-transmitted vibration. Part 1. General purpose vibration meters

Дата введения — 2022—09—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает требования к характеристикам средств измерений вибрации, применяемых в целях оценки ее воздействия на человека (виброметров), а также методы определения этих характеристик в ходе испытаний (для целей утверждения типа или одобрения единичного образца, периодических испытаний) и проверки работоспособности средств измерений на месте применения с использованием вибрационного калибратора, включая требования к калибратору.

Средства измерений вибрации, рассматриваемые в настоящем стандарте, могут быть выполнены в виде единого прибора, представлять собой совокупность отдельных устройств или компьютеризованную систему сбора и анализа данных.

Средства измерений вибрации, рассматриваемые в настоящем стандарте, предназначены для измерений:

- локальной вибрации (см. *ГОСТ 31192.1*);
- общей вибрации (см. *ГОСТ 31191.1*, *ГОСТ 31191.2* и *ГОСТ 31191.4*);
- общей низкочастотной вибрации в диапазоне частот от 0,1 до 0,5 Гц (см. *ГОСТ 31191.1*).

Конструкция средства измерений может предусматривать использование одной или нескольких функций частотной коррекции в зависимости от измерительной задачи.

В настоящем стандарте определены три уровня испытаний:

a) подтверждение заявленных характеристик средства измерений, включающее в себя:

- полные испытания средства измерений на проверку соответствия требованиям настоящего стандарта (для целей утверждения типа),
- испытания меньшего объема для единичных образцов средств измерений на проверку соответствия требованиям настоящего стандарта;

b) периодические (в том числе поверочные) испытания сокращенного объема с целью подтвердить, что характеристики данного экземпляра средства измерений продолжают удовлетворять установленным требованиям;

c) проверка работоспособности средства измерений на месте, включающая в себя минимальный объем испытаний, после которых можно сделать обоснованное заключение о работе данного экземпляра средства измерений в соответствии с установленными требованиями.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 30804.4.2—2013 (IEC 61000-4-2:2008) Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электростатическим разрядам. Требования и методы испытаний

ГОСТ 30804.4.3—2013 (IEC 61000-4-3:2006) Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к радиочастотному электромагнитному полю. Требования и методы испытаний

Издание официальное

ГОСТ 30804.6.2—2013 (IEC 61000-6-2:2005) Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к электромагнитным помехам технических средств, применяемых в промышленных зонах. Требования и методы испытаний

ГОСТ 30805.22—2013 (CISPR 22:2006) Совместимость технических средств электромагнитная. Оборудование информационных технологий. Радиопомехи индустриальные. Нормы и методы измерений

ГОСТ 31191.1 Вибрация и удар. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Часть 1. Общие требования

ГОСТ 31191.2 Вибрация и удар. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Часть 2. Вибрация внутри зданий

ГОСТ 31191.4—2006 (ИСО 2631-4:2001) Вибрация и удар. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Часть 4. Руководство по оценке влияния вибрации на комфорт пассажиров и бригады рельсового транспортного средства

ГОСТ 31192.1—2004 (ИСО 5349-1:2001) Вибрация. Измерение локальной вибрации и оценка ее воздействия на человека. Часть 1. Общие требования

ГОСТ 34100.3 Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения

ГОСТ ИСО 5348 Вибрация и удар. Механическое крепление акселерометров

ГОСТ ISO 16063-1 Вибрация. Методы калибровки датчиков вибрации и удара. Часть 1. Основные положения

ГОСТ ISO 16063-11 Вибрация. Методы калибровки датчиков вибрации и удара. Часть 11. Первичная вибрационная калибровка методами лазерной интерферометрии

ГОСТ ISO 16063-12 Вибрация. Методы калибровки датчиков вибрации и удара. Часть 12. Первичная вибрационная калибровка на основе принципа взаимности

ГОСТ ISO 16063-21—2013 Вибрация. Методы калибровки датчиков вибрации и удара. Часть 21. Вибрационная калибровка сравнением с эталонным преобразователем

ГОСТ Р 51317.4.6 Совместимость технических средств электромагнитная. Устойчивость к кондуктивным помехам, наведенным радиочастотными электромагнитными полями. Требования и методы испытаний

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого стандарта с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию стандарта с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего стандарта в ссылочный стандарт, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины, определения, обозначения и сокращения

3.1 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по [*1*], [*2*], а также следующие термины с соответствующими определениями.

3.1.1 Общие термины

3.1.1.1 **ускорение (вибрации)** (vibration acceleration): Составляющая ускорения вдоль оси измерения, определенной соответствующим стандартом.

3.1.1.2 **полосовая фильтрация** (band-limiting frequency weighting): Частотная коррекция сигнала, осуществляемая полосовым фильтром (совокупностью фильтров нижних и верхних частот).

3.1.1.3 **диапазон полосовой фильтрации** (band-limited frequency range): Диапазон частот полосового фильтра, применяемого для частотной коррекции.

3.1.1.4 **номинальный диапазон частот** (nominal frequency range): Диапазон частот измерений, определенный нормативным документом на метод измерений.

3.1.1.5 **линейный рабочий диапазон** (linear operating range): Интервал, ограниченный нижней и верхней границами внутри каждого диапазона измерений, в пределах которого отклонение от линейности не превышает допустимых значений, установленных настоящим стандартом.

3.1.1.6 **перегрузка** (overload): Состояние измерительной цепи при превышении верхней границы линейного рабочего диапазона.

3.1.1.7 **слабый сигнал** (under-range): Состояние измерительной цепи, при котором измеряемый параметр вибрации ниже нижней границы линейного рабочего диапазона.

3.1.1.8 **порный диапазон измерений** (reference measurement range): Диапазон шкалы, заданный для определения характеристик средств измерений.

Примечание — В данном диапазоне проводят измерения с использованием опорного вибрационного воздействия.

3.1.1.9 **опорный сигнал вибрации** (reference vibration signal): Гармоническая вибрация с установленными амплитудой (среднеквадратичным значением) и частотой, используемая для определения электромеханических характеристик виброметра.

Примечание — В зависимости от назначения средства измерений используют разные опорные сигналы вибрации.

3.1.1.10 **частота проверки калибровки** (calibration check frequency): Частота, установленная для проверки коэффициента преобразования средства измерений.

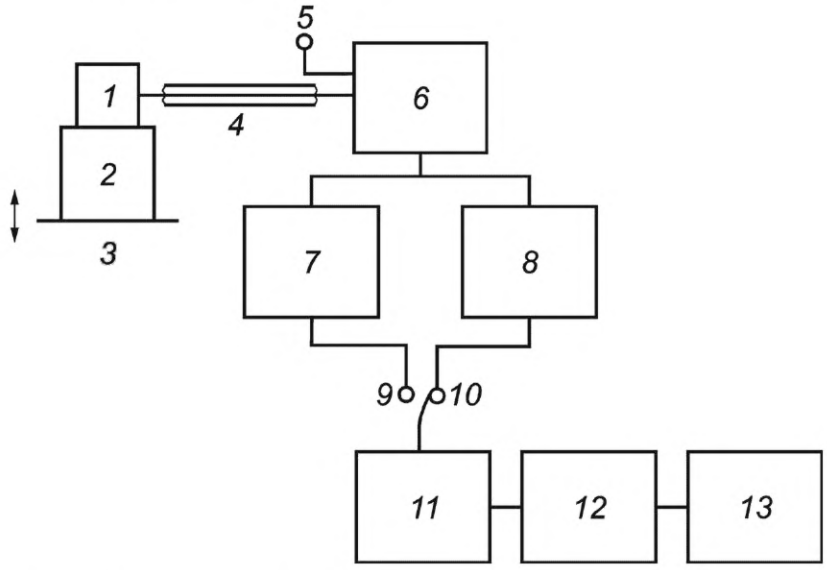
3.1.1.11 **тональная посылка** (tone burst): Сигнал, содержащий один или несколько периодов гармонических колебаний, начальное и конечное значения которого равны нулю.

3.1.1.12 **сигнальная посылка** (signal burst): Сигнал, содержащий один или несколько периодов негармонических колебаний (например, последовательности пилообразных импульсов), начальное и конечное значения которого равны нулю.

3.1.1.13 **средство измерений (вибрации)** (vibration measuring instrumentation): Измерительная цепь, включающая в себя преобразователь вибрации, сигнальный процессор и показывающее устройство, конструктивно выполненная в виде единого блока или нескольких отдельных устройств, которая позволяет измерять параметры вибрации, воздействующей на человека.

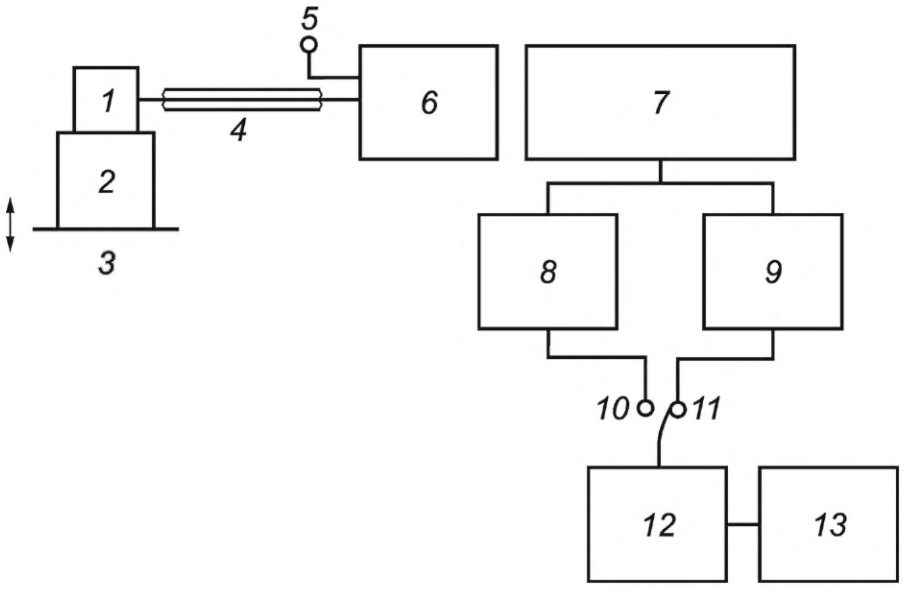
Примечание — См. рисунки 1 и 2.

3.1.1.14 **техническая документация (на средство измерений)** (instrument documentation): Паспорт, руководство по эксплуатации и другие документы, поставляемые пользователю средства измерений.



1 — преобразователь вибрации; *2* — система крепления; *3* — вибрирующая поверхность; *4* — кабель; *5* — электрический вход; *6* — согласование сигнала; *7* — полосовая фильтрация; *8* — частотная коррекция (включая полосовую фильтрацию); *9* — полосовой сигнал; *10* — корректированный сигнал; *11* — временное взвешивание; *12* — дополнительное преобразование; *13* — показывающее устройство

Рисунок 1 — Пример функциональной схемы преобразования вибрации средством измерений во временной области



1 — преобразователь вибрации; *2* — система крепления; *3* — вибрирующая поверхность; *4* — кабель; *5* — электрический вход; *6* — согласование сигнала; *7* — частотный анализ взвешенного и усредненного по времени сигнала; *8* — полосовая фильтрация (расчет по спектру); *9* — частотная коррекция, включая полосовую фильтрацию (расчет по спектру); *10* — выход после полосовой фильтрации; *11* — выход после частотной коррекции; *12* — суммирование по спектральным компонентам; *13* — показывающее устройство

Рисунок 2 — Пример функциональной схемы преобразования вибрации средством измерений в частотной области

3.1.2 Параметры корректированного ускорения вибрации

3.1.2.1 **среднеквадратичное значение корректированного ускорения a_w** (time-averaged weighted acceleration value): Величина, определяемая по формуле

$$a_w = \left(\frac{1}{T} \int_0^T a_w^2(\xi)\, d\xi \right)^{1/2},$$

где $a_w(\xi)$ — текущее значение корректированного ускорения вибрации (поступательного или углового) как функция времени ξ;

T — период измерений.

3.1.2.2 **уровень среднеквадратичного значения корректированного ускорения L_w** (time-averaged weighted acceleration level): Величина, определяемая по формуле

$$L_w = 20 \lg \frac{a_w}{a_0},$$

где a_w — величина, определенная по 3.1.2.1;

a_0 — опорное значение ускорения (для поступательной вибрации это значение определено в [*3*] и равно 10^{-6} м/с^2).

3.1.2.3 **текущее среднеквадратичное значение корректированного ускорения $a_{w,\theta}(t)$** (running r.m.s. acceleration value): Величина, определяемая по формуле

$$a_{w,\theta}(t) = \left(\frac{1}{\theta} \int_{t-\theta}^{t} a_w^2(\xi)\, d\xi \right)^{1/2},$$

где $a_w(\xi)$ — текущее значение корректированного ускорения в момент времени ξ;

θ — время интегрирования;

t — текущее время.

Примечание — В качестве аппроксимации линейного усреднения для получения текущего среднеквадратичного значения корректированного ускорения может быть использовано экспоненциальное усреднение, определяемое по формуле

$$a_{w,\tau} = \left(\frac{1}{\tau} \int_{-\infty}^{t} a_w^2(\xi) \exp\left(\frac{\xi - t}{\tau} \right) d\xi \right)^{1/2},$$

где τ — постоянная времени экспоненциального усреднения.

3.1.2.4 **максимальное кратковременное среднеквадратичное значение корректированного ускорения;** MTVV (maximum transient vibration value): Максимальное значение текущего среднеквадратичного значения корректированного ускорения для времени интегрирования, равного 1 с.

3.1.2.5 **доза укачивания;** MSDV (motion sickness dose value): Величина, представляющая собой интеграл квадрата корректированного ускорения $a_w(t)$, измеряемая в м/с^{1,5} и определяемая по формуле

$$\text{MSDV} = \left(\int_0^{\Phi} a_w^2(\xi) d\xi \right)^{1/2},$$

где Ф — общий период времени, в течение которого наблюдают укачивание (низкочастотные колебания).

Примечание 1 — Доза укачивания может быть получена из среднеквадратичного значения корректированного ускорения умножением на коэффициент $\Phi^{1/2}$.

Примечание 2 — При измерениях, если не определено иное, время воздействия Ф обычно принимают равным периоду измерений T.

3.1.2.6 **доза вибрации;** VDV (vibration dose value): Величина, представляющая собой интеграл четвертой степени корректированного ускорения $a_w(t)$, измеряемая в м/с^{1,75} и определяемая по формуле

$$\text{VDV} = \left(\int_0^{\Phi} a_w^4(\xi) d\xi \right)^{1/4},$$

где Ф — общее время воздействия вибрации.

Примечание 1 — Доза вибрации более чувствительна к пиковым значениям ускорения, чем среднеквадратичное значение.

Примечание 2 — При измерениях, если не определено иное, время воздействия Ф обычно принимают равным периоду измерений T.

3.1.2.7 **полная вибрация a_{wv}** (vibration total value): Суммарная вибрация по трем осям поступательного движения, определяемая по формуле

$$a_{wv} = \sqrt{k_x a_{wx}^2 + k_y a_{wy}^2 + k_z a_{wz}^2},$$

где a_{wx}, a_{wy} и a_{wz} — среднеквадратичные значения корректированного ускорения в направлении трех ортогональных измерительных осей x, y и z соответственно;

k_x, k_y и k_z — коэффициенты, значение которых зависит от целей измерения.

3.1.2.8 **пиковое значение** (peak vibration value): Максимальное значение модуля корректированного ускорения на периоде измерения.

3.1.2.9 **пик-фактор** (crest factor): Отношение пикового значения корректированного ускорения к его среднеквадратичному значению (при использовании для обеих величин одной и той же функции частотной коррекции и одного периода измерений).

3.2 Обозначения

В настоящем стандарте применены следующие обозначения.

a_w — среднеквадратичное значение (с.к.з.) корректированного ускорения;

$a_w(t)$, $a_w(\xi)$ — текущее значение поступательного или углового корректированного ускорения в момент времени t или ξ;

f — частота;

H — функция частотной коррекции;

k_i — коэффициент (множитель) для среднеквадратичного значения корректированного ускорения общей вибрации в направлении оси i;

n — номер третьоктавной полосы частот;

s — переменная в преобразовании Лапласа;

t или ξ — текущее время;

T — период измерений;

W_x — частотная коррекция x;
Ф — время воздействия вибрации;
ΔP_{max} — максимальное отклонение пикового значения;
$\Delta\varphi$ — фазовая погрешность;
$\Delta\vartheta$ — разность фазовых задержек;
τ — постоянная времени при экспоненциальном усреднении (интегрировании);
θ — время линейного интегрирования;
MSDV — доза укачивания;
MTVV — максимальное кратковременное среднеквадратичное значение корректированного ускорения;
VDV — доза вибрации.

4 Нормальные условия измерений

Для определения рабочих характеристик виброметра установлены следующие нормальные условия:
- температура окружающего воздуха — 23 °С;
- относительная влажность — 50 %.

5 Требования к характеристикам средства измерений

5.1 Общие характеристики

Требования к характеристикам средства измерений, установленные в настоящем разделе, справедливы для нормальных условий измерений.

Средства измерений вибрации, воздействующей на человека, должны иметь устройства отображения, по крайней мере, следующих параметров:

- среднеквадратичного значения корректированного ускорения на периоде измерений;
- среднеквадратичного значения ускорения в диапазоне полосовой фильтрации на периоде измерений;
- периода измерений *T*.

Должно быть предусмотрено также средство индикации появления перегрузки в любой из моментов на периоде измерений.

Средство измерений вибрации должно предусматривать способ установки и регулировки коэффициента преобразования.

Средство измерений в зависимости от назначения может содержать полный набор или часть функций, рассматриваемых в настоящем стандарте. Для всех функций, реализуемых средством измерений, соответствующие им характеристики должны удовлетворять требованиям настоящего стандарта.

Если средство измерений имеет более одного диапазона измерений, то эти диапазоны и методы их переключения должны быть указаны в технической документации. В технической документации должен быть также указан опорный диапазон измерений.

Параметры опорного сигнала вибрации приведены в таблице 1.

Таблица 1 — Параметры опорного сигнала вибрации

Применение	Частотная коррекция	Вид функции частотной коррекции	Номинальный диапазон частот, Гц	Параметры опорного сигнала вибрации		Значение функции частотной коррекции на частоте опорного сигнала	С.к.з. корректированного ускорения на частоте опорного сигнала, м/с^2
				Частота, рад/с (Гц)	С.к.з., м/с^2		
Локальная вибрация	W_h	Таблица В.6	От 8 до 1000	500 (79,58)	10	0,2020	2,020
Общая вибрация	W_b	Таблица В.1	От 0,5 до 80	100 (15,915)	1,0	0,8126	0,8126
	W_c	Таблица В.2				0,5145	0,5145
	W_d	Таблица В.3				0,1261	0,1261
	W_e	Таблица В.4				0,06287	0,06287

Окончание таблицы 1

Применение	Частотная коррекция	Вид функции частотной коррекции	Номинальный диапазон частот, Гц	Параметры опорного сигнала вибрации		Значение функции частотной коррекции на частоте опорного сигнала	С.к.з. корректированного ускорения на частоте опорного сигнала, м/с^2
				Частота, рад/с (Гц)	С.к.з., м/с^2		
Общая вибрация	W_j	Таблица В.7	От 0,5 до 80	100 (15,915)	1,0	1,019	1,019
	W_k	Таблица В.8				0,7718	0,7718
	W_m	Таблица В.9	От 1 до 80			0,3362	0,3362
Общая низкочастотная вибрация	W_f	Таблица В.5	От 0,1 до 0,5	2,5 (0,3979)	0,1	0,3888	0,03888

Если виброметр имеет функцию определения максимального кратковременного среднеквадратичного значения и пикового значения, то должна быть предусмотрена возможность работы средства измерений в режиме удержания значений, полученных в процессе измерения. В технической документации должны быть описаны работа в режиме удержания и метод сброса показаний.

Ряд испытаний, установленных настоящим стандартом, предполагает возможность подачи на электрический вход вместо сигнала с преобразователя вибрации заменяющий его эквивалентный электрический сигнал. Технической документацией должен быть установлен способ подачи эквивалентного электрического сигнала, позволяющий проводить испытания без преобразователя вибрации. При необходимости в технической документации могут быть также описаны альтернативные методы испытаний виброметра для подтверждения его характеристик.

Примечание — Для проведения испытаний электрических характеристик измерительной цепи изготовителем виброметра может быть предусмотрен имитатор преобразователя вибрации с заданным электрическим импедансом или эквивалентный входной адаптер (электрический или неэлектрический).

В технической документации должны быть определены максимально допустимые пиковое значение и размах сигнала, поступающего с преобразователя вибрации (в единицах заряда или напряжения), который может быть подан на электрический вход виброметра без его повреждения.

Допуски, установленные настоящим стандартом, включают в себя расширенную неопределенность, рассчитанную для коэффициента охвата 2, что соответствует вероятности охвата приблизительно 95 % (см. *ГОСТ 34100.3*). Значения допусков могут быть использованы при оценке неопределенности измерения вибрации для той ее составляющей, что обусловлена применяемым виброметром.

5.2 Показания средства измерений

5.2.1 Общие положения

Для средства измерений, способного показывать более одного измеренного параметра вибрации, должен быть предусмотрен способ идентификации показаний (предпочтительно с помощью стандартных сокращений или буквенных символов).

В технической документации должны быть описаны показываемые параметры, отображаемые на каждом показывающем устройстве виброметра, с описанием способа идентификации параметра.

Виброметр должен показывать параметры корректированного ускорения вибрации. Дополнительно могут отображаться параметры корректированного ускорения, умноженного на определенный в *ГОСТ 31191.1* коэффициент k. В случае использования множителя k информация об этом должна ясно читаться на показывающем устройстве виброметра. Кроме того, виброметр должен обеспечивать возможность отображения примененного множителя.

В случае, когда показываемая величина характеризует суммарное воздействие вибрации по разным осям (например, полной вибрации), виброметр должен обеспечивать возможность отображения примененных коэффициентов для каждой оси.

При наличии возможности передачи результатов измерений на цифровой выход виброметра в технической документации должен быть описан метод передачи цифровых данных на внешнее показывающее устройство или их записи устройством хранения информации. В технической документации должны быть также указаны необходимые программные и аппаратные средства передачи данных. Рекомендуется использовать стандартизованные шины передачи данных.

Любое дополнительное устройство для отображения параметров сигнала, указанное в технической документации как соответствующее требованиям настоящего стандарта, следует рассматривать как составную часть виброметра. Каждое такое устройство требует подтверждения его характеристик в соответствии с настоящим разделом и разделом 7 на устойчивость к внешним воздействующим факторам. Примерами дополнительных устройств могут служить самописец уровня и компьютер с монитором.

Для средств измерений, у которых диапазон показаний меньше линейного рабочего диапазона, определяемого согласно 5.7, в технической документации должен быть указан способ проверки отклонения от линейности в областях за пределами диапазона показаний.

5.2.2 Разрешение и частота обновления

Показывающее(ие) устройство(а), указанное(ые) в технической документации, должно(ы) обеспечивать считывание данных с разрешением 1 % полученного значения и выше.

Если средство измерений имеет аналоговое показывающее устройство (или устройство с имитацией аналогового процесса), которое обеспечивает непрерывное показание измеряемого параметра, то шкала устройства должна быть выполнена в логарифмическом масштабе. Диапазон шкалы аналогового показывающего устройства должен содержать не менее двух декад шириной не менее 10 мм каждая. Если диапазон шкалы виброметра меньше его линейного рабочего диапазона, то средство измерений должно предусматривать возможность переключения диапазонов шкалы, чтобы показания охватывали весь линейный рабочий диапазон.

Для цифровых устройств, показывающих значения параметров вибрации, показания должны обновляться через регулярные промежутки времени. Период обновления должен быть согласован с измеряемой величиной. Диапазон показываемых значений должен, по крайней мере, охватывать линейный рабочий диапазон средства измерений.

Для средств измерений с цифровым показывающим устройством после каждого обновления должно быть показано значение величины, выбранной для измерения пользователем, на момент обновления. В технической документации могут быть указаны другие способы отображения результата измерений в момент обновления показаний с описанием, каким образом эти способы могут быть реализованы. В технической документации должно быть указано, какой из возможных способов отображения показаний удовлетворяет требованиям настоящего стандарта, а какой не удовлетворяет.

5.2.3 Время стабилизации, начало измерений и продолжительность отображения данных

Период стабилизации и время готовности виброметра к измерению в условиях окружающей среды, близких к нормальным (см. 12.2 и 13.2), не должны превышать 2 мин после его включения.

На показывающем устройстве должна появляться индикация готовности средства измерений к проведению измерений после его включения, переключения диапазонов и выбора измеряемой величины.

Время между командой к началу измерений, поданной пользователем, и собственно началом измерений не должно превышать 0,5 с.

Примечание — Чтобы средство измерений было готово к приему данных после завершения предыдущего измерения (особенно при измерении общей низкочастотной вибрации), может потребоваться наличие фазы инициализации (возврата характеристик в исходное состояние) перед началом нового измерения.

До вывода результатов измерения на показывающее устройство на нем должна сохраняться индикация, находится ли средство измерений в режиме измерений или в фазе инициализации.

5.3 Электрический выход

При наличии выхода по переменному току в технической документации должны быть установлены характеристики выходных сигналов, в том числе:

- максимальный размах выходного напряжения (не менее 1 В);
- внутренний электрический выходной импеданс виброметра;
- минимально допустимый импеданс нагрузки;
- частотные коррекции, для которых может быть получен выходной сигнал.

Подсоединение к выходу активной нагрузки, включая цепь короткого замыкания, не должно приводить к изменению показаний для проводимого измерения более чем на 2 %.

5.4 Коэффициент преобразования измерительной цепи

В технической документации должна быть указана по крайней мере одна модель калибратора, позволяющего проверять и поддерживать в заданных пределах значение коэффициента преобразования измерительной цепи. Требования к калибратору — в соответствии с приложением А.

В технической документации должна быть описана процедура регулировки показаний средства измерений, обеспечивающая выполнение требований настоящего стандарта, с использованием калибратора. Такую регулировку применяют в отношении всех преобразователей вибрации, рекомендованных к использованию в составе данного средства измерений, а также всех кабелей и других вспомогательных устройств, предусмотренных изготовителем для соединения виброметра с преобразователем.

5.5 Показания измеренного параметра вибрации на частоте опорного сигнала в нормальных условиях измерений

В таблице 2 приведены значения допуска на показания виброметра, настроенного на измерения в опорном диапазоне измерений, при воздействии опорным сигналом вибрации (см. таблицу 1) на основание преобразователя вибрации или устройство его крепления. Установленные значения допуска применяют для всех частотных коррекций, рассматриваемых в настоящем стандарте, после регулировки коэффициента преобразования согласно 5.4. Показания должны быть зафиксированы после завершения периода стабилизации.

Таблица 2 — Пределы погрешности показаний виброметра при воздействии опорного сигнала вибрации

Параметр	Значение допуска
Показанное значение параметра вибрации в нормальных условиях измерений	±3 % для локальной и общей вибрации
	±5 % для низкочастотной общей вибрации
Разность между показанным значением для любого параметра корректированного ускорения и показанным значением для полосового сигнала, умноженным на соответствующее значение функции частотной коррекции (на частоте опорного сигнала)	±3 %
Разность между показанными текущим среднеквадратичным значением и среднеквадратичным значением ускорения полосового сигнала для любого периода измерений	±2 %

5.6 Частотные коррекции и передаточные функции фильтров

5.6.1 Параметры

Виброметр должен реализовывать частотные коррекции сигнала ускорения (одну или несколько) из указанных в таблице 1, включая соответствующую полосовую фильтрацию. Функции частотной коррекции определены формулами (1)—(5), а также параметрами, приведенными в таблице 3.

Каждая применяемая функция частотной коррекции определена в виде произведения передаточных функций трех фильтров (полосового, переходного и ступенчатого), задаваемых через значения угловых частот $\omega_1,\ldots, \omega_6$ ($\omega_i = 2\pi f_i$, где $i = 1,\ldots, 6$) и добротностей Q_1, Q_2, Q_3, Q_4, Q_5 и Q_6, указанных в таблице 3 [см. формулы (1)—(5)].

5.6.2 Полосовой фильтр

Передаточная функция полосового фильтра является произведением передаточных функций фильтров Баттерворта второго порядка:

- фильтра верхних частот:

$$H_h(s) = \frac{1}{1 + \frac{\omega_1}{Q_1 s} + \left(\frac{\omega_1}{s}\right)^2}; \quad (1)$$

- фильтра нижних частот:

$$H_1(s) = \frac{1}{1 + \frac{s}{Q_2 \omega_2} + \left(\frac{s}{\omega_2}\right)^2}. \quad (2)$$

Передаточная функция полосового фильтра представляет собой произведение $H_h(s) \cdot H_1(s)$.

Таблица 3 — Параметры фильтров, определяющих функции частотной коррекции

Частотная коррекция	Полосовой фильтр				Переходный фильтр			Ступенчатый фильтр				Коэффициент усиления K
	f_1, Гц	Q_1	f_2, Гц	Q_2	f_3, Гц	f_4, Гц	Q_4	f_5, Гц	Q_5	f_6, Гц	Q_6	
W_b	0,4	$1/\sqrt{2}$	100	$1/\sqrt{2}$	16	16	0,55	2,5	0,9	4	0,95	1,024
W_c	0,4	$1/\sqrt{2}$	100	$1/\sqrt{2}$	8	8	0,63	∞	1	∞	1	1
W_d	0,4	$1/\sqrt{2}$	100	$1/\sqrt{2}$	2	2	0,63	∞	1	∞	1	1
W_e	0,4	$1/\sqrt{2}$	100	$1/\sqrt{2}$	1	1	0,63	∞	1	∞	1	1
W_f	0,08	$1/\sqrt{2}$	0,63	$1/\sqrt{2}$	∞	0,25	0,86	0,0625	0,80	0,10	0,80	1
W_h	$10^{8/10}$	$1/\sqrt{2}$	$10^{31/10}$	$1/\sqrt{2}$	$\frac{100}{2\pi}$	$\frac{100}{2\pi}$	0,64	∞	1	∞	1	1
W_j	0,4	$1/\sqrt{2}$	100	$1/\sqrt{2}$	∞	∞	1	3,75	0,91	5,32	0,91	1
W_k	0,4	$1/\sqrt{2}$	100	$1/\sqrt{2}$	12,5	12,5	0,63	2,37	0,91	3,35	0,91	1
W_m	$10^{-0,1}$	$1/\sqrt{2}$	100	$1/\sqrt{2}$	$\frac{1}{0,028\times 2\pi}$	$\frac{1}{0,028\times 2\pi}$	0,5	∞	1	∞	1	1

Примечание 1 — В *ГОСТ 31191.4—2006* (таблица А.1) для частотной коррекции W_b значение параметра Q_1 дано с округлением до двух значащих цифр. В настоящей таблице приведено точное значение этого параметра.

Примечание 2 — В *ГОСТ 31192.1—2004* (таблица А.1) для частотной коррекции W_h значения параметров f_1, f_2, f_3 и f_4 даны с округлением до 5 значащих цифр, а параметра Q_1 — до двух значащих цифр. В настоящей таблице приведены точные значения этих параметров.

5.6.3 Переходный фильтр

Передаточная функция переходного фильтра представляет собой постоянный коэффициент передачи по ускорению на низких частотах и постоянный коэффициент передачи по скорости на высоких частотах:

$$H_t(s) = \frac{\left(1+\frac{s}{\omega_3}\right)K}{1+\frac{s}{Q_4\,\omega_4}+\left(\frac{s}{\omega_4}\right)^2}. \qquad (3)$$

Примечание — $H_t(s) = 1$, когда обе частоты, f_3 и f_4 (или соответственно ω_3 и ω_4), равны бесконечности.

5.6.4 Ступенчатый фильтр

Форма передаточной функции ступенчатого фильтра имеет участок в форме плавной ступеньки, на котором модуль передаточной функции растет со скоростью приблизительно 6 дБ на октаву и представляет собой постоянный коэффициент передачи по рывку (первой производной от ускорения):

$$H_s(s) = \frac{1+\frac{s}{Q_5\,\omega_5}+\left(\frac{s}{\omega_5}\right)^2}{1+\frac{s}{Q_6\,\omega_6}+\left(\frac{s}{\omega_6}\right)^2}\left(\frac{\omega_5}{\omega_6}\right)^2. \qquad (4)$$

Примечание — $H_s(s) = 1$, когда обе частоты, f_5 и f_6 (или соответственно ω_5 и ω_6), равны бесконечности.

5.6.5 Функция частотной коррекции

Функция частотной коррекции для каждой частотной коррекции W_x представляет собой произведение передаточных функций полосового, переходного и ступенчатого фильтров:

$$H(s) = H_h(s) \cdot H_1(s) \cdot H_t(s) \cdot H_s(s). \quad (5)$$

Данная формула определяет представление функции частотной коррекции в частотной области через изменение с мнимой угловой частотой $s = j2\pi f$ ее модуля и фазы.

Примечание 1 — В некоторых публикациях вместо символа «*s*» используют символ «*p*».

Примечание 2 — Величину *s* можно интерпретировать также как аргумент в преобразовании Лапласа.

Таблицы и рисунки приложения В показывают изменение модуля и фазы функции частотной коррекции в зависимости от частоты *f* в соответствии с формулами (1)—(5) и значениями параметров из таблицы 3.

Если виброметр обеспечивает измерения с одной или несколькими дополнительными функциями частотной коррекции (не рассматриваемыми в настоящем стандарте), то эти функции и допуски на них должны быть определены в технической документации. Если дополнительная функция частотной коррекции установлена каким-нибудь стандартом, то реализованная виброметром функция частотной коррекции должна соответствовать требованиям этого стандарта.

Фильтры, определенные значениями таблицы 3 и уравнениями (1)—(5), могут быть реализованы сочетанием простых аналоговых фильтров. Пример того, как частотная коррекция может быть реализована цифровыми методами в частотной и временной областях, приведен в приложении С.

5.6.6 Допуски

Допуски на функции частотной коррекции приведены в таблицах 4 и 5. В таблице 5 указаны пределы, в которых должны находиться функции частотной коррекции во всех диапазонах измерений. Допуски включают в себя максимально допустимую расширенную неопределенность при измерении этих функций.

При измерениях ряда параметров вибрации, не основанных на среднем квадратичном значении, таких как пиковое значение, максимальное кратковременное среднеквадратичное значение или доза вибрации, критичной является фазовая характеристика измерительной цепи, определенная формулами (1)—(5). Однако необходимо иметь в виду, что погрешность измерений, связанная с отклонениями фазовой характеристики, зависит не от абсолютных значений этих отклонений, а от того, насколько быстро изменяется отклонение фазовой характеристики с изменением частоты. По этой причине для оценки точности реализации фазовой характеристики используют параметр характеристической фазовой девиации $\Delta\varphi_0$, определяемый по формуле

$$\Delta\varphi_0 = \left| \frac{f_n \Delta\varphi_{n+1} + f_{n+1}\Delta\varphi_n}{f_{n+1} - f_n} \right|, \quad (6)$$

где f_n — среднегеометрическая частота *n*-й третьоктавной полосы частот;

$\Delta\varphi_n$ — фазовая погрешность на частоте f_n.

Таблица 4 — Частоты перехода для определения допусков функций частотной коррекции

Частотная коррекция	Частоты перехода, Гц			
	f_{t1}	f_{t2}	f_{t3}	f_{t4}
W_b	$10^{-6/10}$ (0,2512)	$10^{-2/10}$ (0,631)	$10^{18/10}$ (63,1)	$10^{22/10}$ (158,5)
W_c	$10^{-6/10}$ (0,2512)	$10^{-2/10}$ (0,631)	$10^{18/10}$ (63,1)	$10^{22/10}$ (158,5)
W_d	$10^{-6/10}$ (0,2512)	$10^{-2/10}$ (0,631)	$10^{18/10}$ (63,1)	$10^{22/10}$ (158,5)
W_e	$10^{-6/10}$ (0,2512)	$10^{-2/10}$ (0,631)	$10^{18/10}$ (63,1)	$10^{22/10}$ (158,5)
W_f	$10^{-13/10}$ (0,05012)	$10^{-9/10}$ (0,1259)	$10^{-4/10}$ (0,3981)	$10^{0/10}$ (1)

Окончание таблицы 4

Частотная коррекция	Частоты перехода, Гц			
	f_{t1}	f_{t2}	f_{t3}	f_{t4}
W_h	$10^{7,5/10}$ (3,981)	$10^{10/10}$ (10)	$10^{29/10}$ (794,3)	$10^{33/10}$ (1995)
W_j	$10^{-6/10}$ (0,2512)	$10^{-2/10}$ (0,631)	$10^{18/10}$ (63,1)	$10^{22/10}$ (158,5)
W_k	$10^{-6/10}$ (0,2512)	$10^{-2/10}$ (0,631)	$10^{18/10}$ (63,1)	$10^{22/10}$ (158,5)
W_m	$10^{-3/10}$ (0,5012)	$10^{1/10}$ (1,259)	$10^{18/10}$ (63,1)	$10^{22/10}$ (158,5)

Таблица 5 — Допуски на функции частотной коррекции

Частота f	Допуск на абсолютное значение функции частотной коррекции, %	Допуск на характеристическую фазовую девиацию[a] $\Delta\varphi_0$
$f < f_{t1}$	+26; –100	±∞
$f_{t1} \le f \le f_{t2}$	+26; –21	±12°
$f_{t2} < f < f_{t3}$	+12; –11	±6°
$f_{t3} \le f \le f_{t4}$	+26; –21	±12°
$f_{t4} < f$	+26; –100	±∞

[a] Допуск на характеристическую фазовую девиацию применяют только к средствам измерений параметров, не основанных на среднеквадратичных значениях.

5.7 Линейность по амплитуде

Показываемый виброметром результат измерений параметра вибрации должен изменяться пропорционально изменению ускорения, воспринимаемого преобразователем вибрации, во всем диапазоне измерений. Это требование должно соблюдаться для любой частоты во всем диапазоне средства измерений для любой функции частотной коррекции для всех измеряемых параметров.

Во всем диапазоне измерений отклонения от линейности не должны превышать 6 %. В опорном диапазоне на частоте опорного сигнала линейный рабочий диапазон должен составлять не менее 60 дБ.

Примечание — Для средства измерений локальной вибрации, включающей в себя импульсы большой мощности, может потребоваться соблюдение требования линейности в более широком диапазоне значений.

В технической документации должен быть указан диапазон амплитуд (среднеквадратичных значений) гармонической вибрации, в пределах которого отклонения от линейности не будут превышать 6 % без индикации перегрузки или слабого сигнала на любой частоте в пределах номинального диапазона частот.

Для виброметра с ручным переключением диапазонов измерений перекрытие между соседними диапазонами должно составлять не менее 40 дБ.

В технической документации должны быть указаны верхняя и нижняя границы линейного рабочего диапазона для каждого диапазона измерений.

5.8 Собственный шум измерительной цепи

В технической документации должны быть указаны типичные показания виброметра, которые могут появляться в режиме измерения среднеквадратичного значения корректированного ускорения в случае, когда преобразователь вибрации установлен на невибрирующем объекте (т. е. когда вибрация объекта незначительна по сравнению с этими показаниями). Указанные в технической документации значения должны соответствовать общему внутреннему шуму измерительной цепи, включающей в себя преобразователь вибрации и другие элементы виброметра, по крайней мере для нормальных условий измерений.

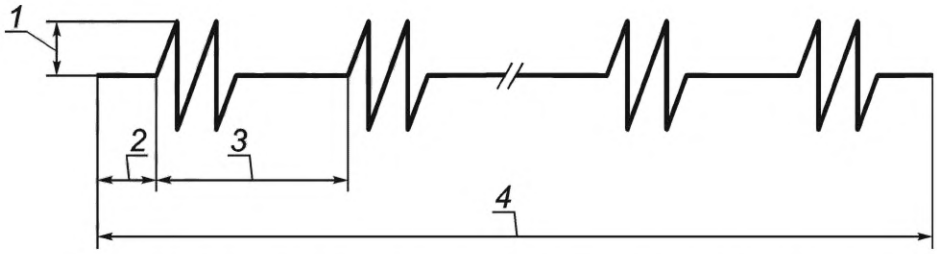
5.9 Показания в ответ на сигнальные посылки

Требования к измерениям переходных процессов определены для входного сигнала в виде последовательности прямоугольных импульсов с заполнением пилообразным сигналом на частоте опорного сигнала вибрации.

Тестовый сигнал в форме последовательности импульсов с заполнением пилообразным сигналом показан на рисунке 3. Характеристики тестового сигнала приведены в таблице 6. В таблицах 7—9 представлены относительные показания средства измерений в ответ на тестовый сигнал с пиковым значением 1 м/с^2. Эти значения следует умножать на реальное пиковое значение тестового сигнала.

Примечание 1 — Значения измеряемых параметров получены посредством численного моделирования.

Примечание 2 — Пилообразная форма сигнала выбрана для задания точного соотношения между фазами частотных составляющих тестового сигнала. Это позволяет в процессе испытаний с использованием тестового сигнала данного вида контролировать фазовую характеристику частотной коррекции.



1 — пиковое значение; *2* — время задержки; *3* — период повторения; *4* — общая длительность сигнала

Рисунок 3 — Тестовый сигнал в форме последовательности сигнальных посылок с пилообразным заполнением (на рисунке дан пример сигнальной посылки из двух периодов заполнения)

Таблица 6 — Характеристики тестового сигнала из сигнальных посылок с пилообразным заполнением

Область применения	Частотная коррекция	Частота заполнения, рад/с (Гц)	Время задержки, с	Число периодов заполнения в посылке	Период повторения посылок, с	Общая длительность сигнала, с
Локальная вибрация	W_h	500 (79,58)	0,2	1, 2, 4, 8 и 16	2	12
Общая вибрация	W_b, W_c, W_d, W_e, W_j, W_k, W_m	100 (15,915)	1		10	60
Общая низкочастотная вибрация	W_f	2,5 (0,3979)	40		400	2400

Таблица 7 — Показания виброметра в ответ на тестовый сигнал в режиме измерений локальной вибрации

Частотная коррекция	Число периодов в посылке	Показываемое среднеквадратичное значение (с.к.з.)	Допуск, %
Полосовой фильтр	1	0,0448	10
	2	0,0633	10
	4	0,0895	10
	8	0,127	10
	16	0,179	10
	Непрерывный тестовый сигнал	0,565	10
W_h	1	0,0103	10
	2	0,0133	10
	4	0,0168	10
	8	0,0224	10
	16	0,0309	10
	Непрерывный тестовый сигнал	0,0946	10

Таблица 8 — Показания виброметра в ответ на тестовый сигнал в режиме измерений общей вибрации

Частотная коррекция	Число периодов в посылке	С.к.з.	Допуск, %	VDV	Допуск, %	MTVV, линейное усреднение	Допуск, %	MTVV, экспонен-циальное усреднение	Допуск, %
Полосовой фильтр	1	0,0433	10	0,498	12	0,137	10	0,135	10
	2	0,0612	10	0,593	12	0,193	10	0,188	10
	4	0,0865	10	0,705	12	0,274	10	0,258	10
	8	0,122	10	0,838	12	0,387	10	0,344	10
	16	0,173	10	0,996	12	0,547	10	0,437	10
	Непре-рывный тестовый сигнал	0,546	10	1,77	12	0,547	10	0,549	10
W_b	1	0,0314	10	0,342	12	0,0991	10	0,0968	10
	2	0,0435	10	0,403	12	0,137	10	0,132	10
	4	0,0614	10	0,482	12	0,194	10	0,182	10
	8	0,0867	10	0,575	12	0,274	10	0,243	10
	16	0,123	10	0,685	12	0,387	10	0,309	10
	Непре-рывный тестовый сигнал	0,387	10	1,22	12	0,388	10	0,388	10
W_c	1	0,0222	10	0,244	12	0,0703	10	0,0684	10
	2	0,0292	10	0,275	12	0,0923	10	0,0885	10
	4	0,0397	10	0,318	12	0,126	10	0,117	10
	8	0,0550	10	0,374	12	0,174	10	0,153	10
	16	0,0770	10	0,445	12	0,243	10	0,192	10
	Непре-рывный тестовый сигнал	0,240	10	0,788	12	0,243	10	0,242	10
W_d	1	0,00669	10	0,0779	12	0,0212	10	0,0197	10
	2	0,00906	10	0,0852	12	0,0286	10	0,0264	10
	4	0,0116	10	0,0923	12	0,0366	10	0,0330	10
	8	0,0148	10	0,101	12	0,0469	10	0,0400	10
	16	0,0197	10	0,115	12	0,0611	10	0,0481	10
	Непре-рывный тестовый сигнал	0,0590	10	0,197	12	0,0611	10	0,0594	10

Окончание таблицы 8

Частотная коррекция	Число периодов в посылке	С.к.з.	Допуск, %	VDV	Допуск, %	MTVV, линейное усреднение	Допуск, %	MTVV, экспонен-циальное усреднение	Допуск, %
W_e	1	0,00342	10	0,0409	12	0,0108	10	0,00992	10
	2	0,00478	10	0,0452	12	0,0151	10	0,0135	10
	4	0,00637	10	0,0493	12	0,0201	10	0,0176	10
	8	0,00816	10	0,0535	12	0,0255	10	0,0214	10
	16	0,0102	10	0,0592	12	0,0311	10	0,0244	10
	Непре-рывный тестовый сигнал	0,0295	10	0,0987	12	0,0311	10	0,0297	10
W_j	1	0,0435	10	0,517	12	0,138	10	0,135	10
	2	0,0616	10	0,609	12	0,195	10	0,189	10
	4	0,0874	10	0,723	12	0,277	10	0,261	10
	8	0,124	10	0,859	12	0,392	10	0,349	10
	16	0,175	10	1,02	12	0,554	10	0,443	10
	Непре-рывный тестовый сигнал	0,554	10	1,81	12	0,555	10	0,557	10
W_k	1	0,0299	10	0,323	12	0,0944	10	0,0922	10
	2	0,0411	10	0,380	12	0,130	10	0,125	10
	4	0,0577	10	0,455	12	0,182	10	0,171	10
	8	0,0814	10	0,543	12	0,257	10	0,228	10
	16	0,115	10	0,648	12	0,363	10	0,289	10
	Непре-рывный тестовый сигнал	0,362	10	1,15	12	0,364	10	0,363	10
W_m	1	0,0149	10	0,165	12	0,0472	10	0,0456	10
	2	0,0197	10	0,185	12	0,0263	10	0,0594	10
	4	0,0264	10	0,211	12	0,0836	10	0,0775	10
	8	0,0363	10	0,247	12	0,0115	10	0,101	10
	16	0,0507	10	0,294	12	0,160	10	0,126	10
	Непре-рывный тестовый сигнал	0,158	10	0,520	12	0,160	10	0,159	10

Таблица 9 — Показания виброметра в ответ на тестовый сигнал в режиме измерений общей низкочастотной вибрации

Частотная коррекция	Число периодов в посылке	С.к.з.	Допуск, %	MSDV	Допуск, %
Полосовой фильтр	1	0,0341	10	1,671	10
	2	0,0487	10	2,386	10
	4	0,0690	10	3,380	10
	8	0,0982	10	4,811	10
	16	0,139	10	6,810	10
	Непрерывный тестовый сигнал	0,439	10	21,51	10
W_f	1	0,0197	10	0,9651	10
	2	0,0236	10	1,156	10
	4	0,0304	10	1,489	10
	8	0,0416	10	2,038	10
	16	0,0571	10	2,797	10
	Непрерывный тестовый сигнал	0,176	10	8,662	10

5.10 Индикация перегрузки

Средство измерений должно иметь индикатор перегрузки для каждого показывающего устройства и средства обнаружения перегрузки во всех критических точках измерительной цепи. Специальные меры должны быть предусмотрены для предотвращения перегрузки преобразователя вибрации (например, выбор преобразователя в соответствии с целями измерений, наличие встроенного в преобразователь детектора перегрузки, использование механического фильтра).

Индикация перегрузки должна появляться, как только возрастающий сигнал превысит установленную верхнюю границу и до того, как будут превышены пределы допусков на линейность и на показания в ответ на последовательности сигнальных посылок. Данное требование должно выполняться во всем номинальном диапазоне частот.

Индикатор перегрузки должен реагировать на значения сигнала как положительной, так и отрицательной полярности. Разность между пиковыми значениями сигналов положительной и отрицательной полярности, при достижении которых появляется индикация перегрузки, не должна превышать 15 %.

При измерении параметров, требующих интегрирования на заданном интервале времени, появившаяся индикация перегрузки должна сохраняться до тех пор, пока не будет выполнен сброс результатов измерений. Это требование должно выполняться также при измерениях максимальных (пиковых) значений на заданном периоде времени, а также в отношении расчетных параметров, отображаемых на показывающем устройстве в процессе или по завершении измерения.

При измерении текущего среднеквадратичного значения корректированного ускорения индикация перегрузки должна появляться в момент перегрузки и сохраняться то время, в течение которого перегрузка будет оказывать влияние на результат измерений (т. е. в течение времени интегрирования для линейного усреднения и в течение времени, равного удвоенной постоянной времени, для экспоненциального усреднения). При этом время индикации перегрузки не должно быть менее 1 с для измерений локальной вибрации и 8 с для измерений общей и общей низкочастотной вибрации.

В технической документации должны быть описаны работа индикатора перегрузки, интерпретация индикации перегрузки и способ ее сброса.

Примечание — Желательно, чтобы средство измерений обладало возможностью показывать, на какой части от общего времени измерения наблюдалось состояние перегрузки для каждого канала измерений.

5.11 Индикация слабого сигнала

Если значение измеряемого параметра вибрации (усредненного на заданном интервале времени или текущего значения) не превышает нижнюю границу линейного рабочего диапазона, то это должно сопровождаться появлением индикации слабого сигнала до того, как будут превышены пределы допусков на линейность.

Индикация слабого сигнала должна сохраняться до тех пор, пока сохраняется состояние слабого сигнала или пока это состояние способно оказывать влияние на результат измерений. Минимальное время индикации слабого сигнала составляет 1 с для локальной вибрации и 8 с для общей и общей низкочастотной вибраций.

5.12 Время интегрирования

Средство измерений должно предусматривать для пользователя возможность выбора или управления временем интегрирования при измерении параметров корректированного ускорения.

5.13 Измерение текущего среднеквадратичного значения корректированного ускорения

Для средства измерений, предусматривающего возможность измерения текущего среднеквадратичного значения корректированного ускорения, необходимо проверять значение времени интегрирования при линейном усреднении или постоянной времени при экспоненциальном усреднении. Проверку осуществляют посредством подачи на электрический вход виброметра гармонического сигнала опорной частоты в течение времени, составляющего не менее пяти периодов интегрирования для линейного усреднения и не менее 20 постоянных времени интегрирования для экспоненциального усреднения (дополнительные сведения о линейном и экспоненциальном методах усреднения приведены в приложении D), с последующим резким отключением этого сигнала.

После отключения входного сигнала показания средства измерений должны изменяться, как указано в таблице 10 для линейного усреднения и в таблице 11 для экспоненциального усреднения. Время спада определяют как временной интервал между моментом отключения сигнала и моментом, когда показания средства измерений будут составлять 10 % первоначального значения. Проверку выполнения требований, установленных в таблицах 10 и 11, осуществляют в опорном диапазоне измерений.

Таблица 10 — Изменение показаний при линейном усреднении

Время интегрирования, с	Время спада, с
0,125	0,124 ± 0,005
1	0,99 ± 0,05
8	7,92 ± 0,2

Таблица 11 — Изменение показаний при экспоненциальном усреднении

Постоянная времени, с	Время спада, с	Эквивалентная скорость затухания, дБ/с
0,125	0,58 ± 0,03	От 31 до 40
1	4,61 ± 0,25	От 3,8 до 4,9
8	36,8 ± 2	От 0,48 до 0,62

5.14 Сброс результатов измерения

Виброметр, предназначенный для измерений среднеквадратичного значения корректированного ускорения, максимального кратковременного среднеквадратичного значения корректированного ускорения и дозы вибрации при любой частотной коррекции, должен предусматривать способ очистки устройства хранения результатов измерения и приведения его в состояние готовности для последующих измерений (перезагрузки). В технической документации должно быть указано, происходит ли одновременно с перезагрузкой виброметра прекращение индикации перегрузки. Кроме того, в технической документации должна быть описана работа устройства очистки данных и установлена номинальная временная задержка между операцией ручного или удаленного сброса результатов измерения и началом новых измерений.

Перезагрузка виброметра не должна приводить к появлению каких-либо показаний на показывающих устройствах.

5.15 Устройство измерения времени

Виброметр, предназначенный для измерений усредненной по времени вибрации, должен иметь устройство отображения времени, прошедшего с начала интегрирования. Кроме того, может быть предусмотрена возможность установки времени интегрирования (с шагом 1 с).

Допуск на показания времени, прошедшего с начала интегрирования, составляет 0,1 %. Показания времени должны иметь разрешение не менее 1 с.

В технической документации должно быть указано минимальное и максимальное время интегрирования при измерении усредненной по времени вибрации для сигналов любого уровня в пределах диапазона показывающего устройства.

5.16 Взаимное влияние измерительных каналов

Если виброметр предусматривает возможность передачи сигналов по нескольким каналам одновременно, то влияние одного канала на результат измерения вибрации по другому каналу не должно превышать 0,5 %.

Влияние другого канала не следует путать с влиянием вибрации в поперечном направлении (обусловленным ненулевым коэффициентом поперечного преобразования преобразователя вибрации), которое, как правило, превышает 0,5 % (см. таблицу Е.1). Влияние поперечной вибрации становится особенно заметным при использовании многокомпонентного преобразователя.

5.17 Характеристики преобразователя вибрации

Характеристики преобразователя вибрации выбирают в соответствии с целями измерений (см. также приложение Е).

5.18 Питание

В случае применения автономного источника питания должна быть предусмотрена индикация, подтверждающая, что поставляемая источником энергия достаточна для работы виброметра в соответствии с требованиями настоящего стандарта. Проверка электропитания не должна вносить возмущений в процесс измерений.

При измерении вибрации, передаваемой преобразователю вибрации от вибрационного калибратора, изменение напряжения питания от номинального значения до минимального уровня, установленного технической документацией, не должно приводить к изменению результатов измерений более чем на 3,0 %.

Если питание осуществляют от собственных батарей, то в технической документации должен быть указан рекомендуемый тип батарей и приведено время ожидаемой непрерывной работы от полностью заряженных батарей для нормальных условий измерений.

Если средство измерений с автономным источником питания предназначено для измерений вибрации в течение времени, превышающего номинальный срок работы батареи, то в технической документации должен быть описан рекомендуемый способ работы от внешнего источника питания, включая требования к диапазону напряжения питания и его пульсациям (в том числе высокочастотным выбросам).

6 Крепление преобразователя вибрации

При необходимости использования специальных механических фильтров, систем крепления или кабелей (в том числе включенных в комплект поставки виброметра) в технической документации должно быть указано, что средство измерений удовлетворяет требованиям к частотной коррекции только при установке этих специальных устройств.

Предписанный или рекомендованный способ крепления должен удовлетворять общим требованиям по *ГОСТ ИСО 5348*. Руководство по испытанию системы крепления приведено в приложении F.

В технической документации должно быть указано, для каких измерений какие устройства крепления предназначены, а также перечислены случаи и обстоятельства, когда использование той или иной системы крепления с большой вероятностью приведет к повышенной неопределенности измерения.

7 Внешние воздействия и электромагнитная совместимость

7.1 Общие положения

Все воздействия внешних факторов рассматриваются в части того, как изменяется коэффициент преобразования измерительной цепи, включая преобразователь вибрации, на частоте проверки калибровки относительно его значения в нормальных условиях измерений. В технической документации должно быть установлено типичное время стабилизации работы виброметра после изменений внешних условий.

Единичный образец средства измерений может иметь ограничения на применение в отношении условий окружающей среды. Если такие ограничения имеют место, то они должны быть указаны в технической документации.

Примечание — Под единичным экземпляром средства измерений понимают измерительную систему, собранную из отдельных элементов — сигнального процессора, устройства анализа (записи), показывающего устройства, — каждый из которых прошел испытания в целях утверждения типа или был испытан согласно соответствующим стандартам или техническим условиям изготовителя (см. 13.1).

7.2 Температура окружающего воздуха

Влияние изменений температуры окружающего воздуха на коэффициент преобразования определяют для диапазона температур от минус 10 °С до плюс 50 °С. В этом диапазоне коэффициент преобразования виброметра не должен изменяться более чем на ±5 %.

Требование по чувствительности к изменению температуры воздуха применяют либо для всего средства измерений в целом, либо для тех его составных частей, которые на практике могут подвергаться воздействию температур в широком диапазоне значений.

При наличии в средстве измерений элементов, предназначенных в соответствии с технической документацией для работы в условиях с контролируемым температурным режимом (например, внутри помещений), для них диапазон варьирования температур может быть ограничен интервалом от плюс 5 °С до плюс 30 °С. Этот ограниченный диапазон не применяют ко всему средству измерений в целом.

В пределах заданного диапазона температур окружающего воздуха отклонение от линейности на частоте опорного сигнала и протяженность линейного рабочего диапазона в пределах опорного диапазона измерений должны оставаться в пределах допусков, указанных в 5.7.

7.3 Температура поверхности

Влияние изменения температуры вибрирующей поверхности на коэффициент преобразования определяют для диапазона температур от минус 10 °С до плюс 50 °С. В этом диапазоне коэффициент преобразования виброметра не должен изменяться более чем на ±4 %.

Требование по чувствительности к изменениям температуры вибрирующей поверхности относится к акселерометру, кабелям и системам крепления, которые могут находиться в непосредственном контакте с поверхностью.

В пределах заданного диапазона температур поверхности отклонение от линейности на частоте опорного сигнала и протяженность линейного рабочего диапазона в пределах опорного диапазона измерений должны оставаться в пределах допусков, указанных в 5.7.

7.4 Электростатический разряд

Влияние электростатических разрядов на работу средства измерений должно быть минимальным.

Виброметр должен сохранять работоспособность после контактного разряда напряжения до ±4 кВ или воздушного разряда напряжения до ±8 кВ. Полярность электростатического напряжения определяют относительно земли.

Воздействие указанных электростатических разрядов не должно ухудшать характеристики средства измерений или нарушать его работоспособность, кроме случаев, оговоренных в технической документации. В технической документации может быть указано, что воздействие электростатических разрядов способно привести к снижению качества функционирования средства измерений или к невозможности выполнения им своих функций. Такое ухудшение функционирования не должно предполагать неработоспособность средства измерений, изменение его конфигурации, повреждение или потерю сохраненных данных или постоянную утрату части функций.

7.5 Излучение радиочастотного поля и помехи, вносимые в электрическую сеть

Излучение измерительного инструмента в диапазоне радиочастот должно быть минимальным.

Если конструкция виброметра рассчитана на передачу собранных данных по соединительному кабелю, то в технической документации должны быть указаны рекомендуемая длина кабеля и устройство, к которому кабель может быть подключен.

Уровень радиочастотного поля, излучаемого виброметром через сигнальные порты, не должен превышать 30 дБ (при опорном значении 1 мкВ/м) в диапазоне частот от 30 до 230 МГц и 37 дБ в диапазоне частот от 230 МГц до 1 ГГц. В технической документации должны быть указаны режимы работы средства измерений и любого подсоединяемого устройства, при которых уровень излучения радиочастотных полей будет максимальным.

Возмущения (квазипиковые и средние значения), вносимые средством измерений в электрическую сеть и определяемые в месте подсоединения сетевого кабеля, не должны превышать указанных в таблице 12. Если при использовании устройства для измерения квазипиковых значений результаты измерений удовлетворяют требованиям для среднего значения, можно считать, что виброметр удовлетворяет установленным допускам как для квазипикового, так и для среднего сигналов.

Таблица 12 — Пределы вносимых возмущений напряжения электрической сети

Диапазон частот, МГц	Предельные значения возмущений напряжения, дБ (относительно опорного значения 1 мкВ)	
	Квазипиковое	Среднее
От 0,15 до 0,50	От 66 до 56	От 56 до 46
От 0,50 до 5	56	46
От 5 до 30	60	50

Примечание 1 — Характеристики измерителя квазипиковых возмущений по [4].

Примечание 2 — Нижние границы уровней возмущений справедливы для частот перехода.

Примечание 3 — В диапазоне от 0,15 до 0,50 МГц уровень возмущений напряжения уменьшается прямо пропорционально логарифму частоты.

7.6 Устойчивость к радиочастотному электромагнитному полю и полям сетевой частоты

Влияние полей сетевой частоты и радиочастотных электромагнитных полей на работу средства измерений (или отдельных элементов, указанных в технической документации) не должно изменять рабочее состояние или конфигурацию средства измерения, приводить к искажению или потере сохраненных данных. Настоящее требование распространяется на все режимы работы в нормальных условиях применения виброметра. В технической документации должны быть указаны режимы работы средства измерений и любых присоединенных устройств, при которых устойчивость к воздействию полей сетевой частоты и радиочастотных электромагнитных полей будет минимальной (т. е. чувствительность к воздействию — максимальной).

Устойчивость к полям сетевой частоты определяют при воздействии однородного магнитного поля со среднеквадратичным значением напряженности 80 А/м на частотах 50 и 60 Гц. Условие однородности магнитного поля проверяют до внесения в него средства измерений. В технической документации должна быть указана ориентация виброметра в магнитном поле, при которой его чувствительность к воздействию данного поля будет максимальной.

Устойчивость к радиочастотному электромагнитному полю определяют в диапазоне несущей частоты от 26 МГц до 1 ГГц при ее амплитудной модуляции глубиной 80 % синусоидальным сигналом на частоте (частотах) опорного сигнала. Среднеквадратичное значение напряженности однородного (без внесенного средства измерений) немодулированного электрического поля должно составлять 10 В/м.

Примечание — В технической документации может быть указано, что виброметр удовлетворяет требованиям стандарта при напряженности более 10 В/м.

При воздействии полей сетевой частоты и радиочастотных электромагнитных полей изменение показываемого виброметром значения параметра вибрации не должно превышать ±10 %.

Устойчивость виброметров с входными и выходными портами электропитания переменного тока к влиянию кондуктивных помех определяют в диапазоне частот от 0,15 до 80 МГц.

Устойчивость к влиянию кондуктивных помех для виброметров с сигнальными портами, к которым другие элементы измерительной системы присоединяют соединительными кабелями длиной более 3 м, определяют в диапазоне частот от 0,15 до 80 МГц.

7.7 Защита от влаги и пыли

Виброметр должен быть защищен от воздействия влаги и пыли. Изготовитель должен указывать степень защиты (код IP) средства измерений. Код IP должен соответствовать назначению средства измерений (например, использование виброметра для оценки воздействия вибрации на работника в условиях цеха может потребовать степени защиты IP 65, в то время как для лабораторных условий достаточно соблюдения требований для IP 42).

Примечание — Коды IP для защиты оболочками установлены в [5].

8 Использование вспомогательных устройств

Если в комплект поставки изготовителя входит дополнительный удлинительный кабель для соединения с преобразователем вибрации, то в технической документации должны быть описаны все поправки, которые необходимо вносить в результаты измерений при использовании этого кабеля.

Техническая документация должна содержать сведения о влиянии дополнительных приспособлений, поставляемых изготовителем средства измерений. Эти сведения должны быть приведены в отношении всех характеристик, изменяющихся после установки приспособлений. В число дополнительных приспособлений входят устройство крепления акселерометра и механические фильтры. Техническая документация должна содержать информацию о влиянии приспособлений на коэффициент преобразования измерительной цепи.

В технической документации должно быть указано, будет ли средство измерений соответствовать требованиям настоящего стандарта после установки дополнительных приспособлений.

Если конструкцией предусмотрено использование внешних фильтров, в технической документации должны быть описаны все необходимые соединения и способ работы средства измерений с внешними фильтрами.

Техническая документация должна содержать детальное описание соединений вспомогательных устройств, а также влияние этих устройств на электрические характеристики средства измерений. В число вспомогательных устройств входят принтеры, компьютеры, устройства записи данных.

9 Маркировка

Средство измерений, удовлетворяющее всем требованиям настоящего стандарта, должно иметь соответствующую маркировку или показывать ссылку на настоящий стандарт с указанием его обозначения и даты. Маркировка должна включать в себя также наименование фирмы или торговую марку поставщика, несущего ответственность за соответствие средства измерений установленным техническим требованиям. Кроме того, при маркировке указывают обозначение модели средства измерений и его серийный номер.

Если средство измерений состоит из нескольких отдельных блоков, каждый функционально независимый блок должен быть помечен в соответствии с требованиями настоящего раздела. Должно быть четко указано, из каких отдельных функциональных блоков состоит средство измерений в целом.

10 Техническая документация

В комплект поставки каждого средства измерений, удовлетворяющего требованиям настоящего стандарта, должна входить техническая документация.

Если средство измерений состоит из нескольких отдельных элементов, то техническая документация должна распространяться на их сочетание, составляющее в целом функционально законченный виброметр. В технической документации должны быть описаны все необходимые элементы и их взаимное влияние друг на друга.

Значения величин, приводимых в технической документации, должны быть выражены в единицах Международной системы единиц СИ.

Информация, которую должна содержать техническая документация, приведена в приложении G.

11 Виды испытаний

В настоящем стандарте определены три уровня испытаний:

а) подтверждение заявленных характеристик средства измерений, включающее в себя:

1) испытания серийно выпускаемого средства измерений для целей утверждения типа, организуемые изготовителем, в ходе которых полную проверку проходят типовые образцы средства измерений. Целью испытаний является получение свидетельств того, что конструкция средства измерений удовлетворяет требованиям настоящего стандарта,

2) испытания единичного образца средства измерений, организуемые лабораторией или другим пользователем средства измерений, на проверку его соответствия отдельным требованиям настоящего стандарта;

b) периодические испытания сокращенного объема, организуемые изготовителем и пользователем средства измерений и выполняемые:

- периодически (перед покупкой или во время покупки и затем с периодичностью не менее одного раза каждые два года) с целью подтвердить, что характеристики данного средства измерений продолжают удовлетворять требованиям настоящего стандарта,
- после внесения модификаций в конструкцию средства измерений (например, замены преобразователя вибрации) или после его ремонта, в результате которых характеристики данного средства измерений могли быть изменены;

c) проверка работоспособности на месте, проводимая пользователем данного средства измерений и включающая в себя минимальный объем испытаний, которые позволяют с достаточной степенью обоснованности принять решение о возможности применения данного средства измерений. Проверку работоспособности следует проводить непосредственно перед измерениями вибрации и после их завершения.

Испытания средства измерений позволяют оценить выполнение требований, установленных в разделах 5—10. В таблице 13 показано соответствие проверяемых характеристик пунктам разделов, в которых установлены методы испытаний соответствующего уровня.

Соответствие требованиям настоящего стандарта можно считать подтвержденным при получении свидетельств того, что для модели средства измерений, описанного в технической документации согласно требованиям приложения G, подтверждено соответствие требованиям в ходе испытаний для целей утверждения типа, а отдельный экземпляр этой модели выдержал периодические испытания. Для единичного образца средства измерений подтверждением соответствия настоящего стандарта будет прохождение испытаний, предназначенных для единичного средства измерений. В то же время успешное прохождение процедуры работоспособности не является подтверждением соответствия требованиям настоящего стандарта.

Таблица 13 — Перечень характеристик средства измерений и пунктов с описанием испытаний для подтверждения этих характеристик

Требования		Тестовый сигнал		Пункт раздела испытаний			
Пункт, раздел	Характеристика	Электрический	Механический	Испытания для целей утверждения типа	Испытания единичного образца	Периодические испытания	Проверка работоспособности
5.1	Общие характеристики			12.5, 12.6	13.6, 13.7	14.5	15.2
5.2	Показания средства измерений			12.5	13.6		
5.3	Электрический выход	•		12.17			
5.4	Коэффициент преобразования		•	12.7	13.9, 13.11	14.9	15.3
5.5	Погрешность отображения результата измерения	•		12.7	13.9		
5.6	Частотные коррекции и передаточные функции фильтров	•	•	12.11, приложение H	13.11	14.9	
5.7	Линейность по амплитуде	•	•	12.10	13.11	14.9	
5.8	Собственный шум измерительной цепи		•	12.12	13.12		
5.9	Показания в ответ на сигнальные посылки	•		12.13			
5.10	Индикация перегрузки	•		12.14	13.14		
5.11	Индикация слабого сигнала	•	•	12.10			
5.12	Время интегрирования	•		12.13			
5.13	Измерение текущего среднеквадратичного значения корректированного ускорения	•		12.13			

Окончание таблицы 13

Требования		Тестовый сигнал		Пункт раздела испытаний			
Пункт, раздел	Характеристика	Электрический	Механический	Испытания для целей утверждения типа	Испытания единичного образца	Периодические испытания	Проверка работоспособности
5.14	Сброс результатов измерения			12.15			
5.15	Устройство измерения времени			12.18	13.15		
5.16	Взаимное влияние измерительных каналов	•		12.8	13.13		
5.2.1	Измерение полной вибрации	•		12.16			
5.17 (приложение E)	Характеристики преобразователя вибрации		•	12.9			
5.18	Питание			12.19			
6	Крепление преобразователя вибрации			Приложение F			
7	Внешние воздействия и электромагнитная совместимость			12.20			
8	Использование вспомогательных устройств	•		12.5, 12.17			
9	Маркировка			12.4	13.5	14.6	
10	Техническая документация			12.4	13.5	14.6	

12 Испытания для целей утверждения типа

12.1 Общие положения

В настоящем разделе рассмотрены испытания, проводимые для демонстрации соответствия средства измерений всем требованиям настоящего стандарта.

Соответствие требованиям настоящего стандарта считают подтвержденным, если отклонение результата измерений от заданного значения с добавлением расширенной неопределенности, обеспечиваемой испытательной лабораторией, находится в пределах установленного допуска.

Неопределенность измерения определяют в соответствии с *ГОСТ 34100.3*. Расширенную неопределенность рассчитывают в испытательной лаборатории, используя для этого значение коэффициента охвата не менее двух.

В настоящем разделе приведены максимальные расширенные неопределенности измерения, которые допустимы при проверке соответствия требованиям настоящего стандарта. Испытания на подтверждение соответствия требованиям настоящего стандарта не могут быть проведены испытательными лабораториями, у которых значения расширенной неопределенности превышают максимально допустимые значения.

Не допускается исключение какого-либо из испытаний, описанных в настоящем разделе, кроме тех, которые относятся к функциям, не реализованным данным средством измерений.

Если не оговорено иное, все испытания, описанные в настоящем разделе, должны быть проведены для каждого канала многоканального средства измерений.

12.2 Требования испытаний

Все средства измерений, которые применяют в процессе испытаний на подтверждение заявленных характеристик и которые могут вносить вклад в неопределенность измерения, должны обладать прослеживаемостью к эталонам в соответствии с национальной метрологической схемой.

Частота входных сигналов должна быть в пределах ±0,2 % заданного значения.

Амплитуда вибрации должна находиться в пределах ±2 % заданного значения.

Примечание — В настоящее время стандарты по калибровке преобразователей вибрации методами, установленными в *ГОСТ ISO 16063-1*, не обеспечивают калибровку преобразователей вибрации в диапазоне частот ниже 0,4 Гц.

В процессе испытаний параметры окружающей среды должны находиться в следующих пределах:

- температура окружающего воздуха — от 20 °С до 26 °С;
- относительная влажность воздуха — от 10 % до 75 % (без выпадения конденсата).

Коэффициент гармоник *d* для вибрации на входе не должен превышать 5 %.

Коэффициент гармоник *d* для входного электрического сигнала не должен превышать 0,1 %.

Примечание — Коэффициент гармоник *d*, %, определяют согласно [*1*] по формуле

$$d = \frac{\sqrt{a_{tot}^2 - a_1^2}}{a_1} \cdot 100, \qquad (7)$$

где a_1 — среднеквадратичное значение ускорения на частоте возбуждения;

a_{tot} — среднеквадратичное значение сигнала ускорения во всей полосе частот (включая a_1).

12.3 Представление средства измерений на испытания

Средство измерений должно быть представлено на испытания вместе с технической документацией и всеми приспособлениями и устройствами, которые в технической документации указаны как его неотъемлемые элементы, в конфигурации, предназначенной для нормального использования. Примерами таких устройств могут служить акселерометр, устройство крепления и кабель.

Средство измерений представляют на испытания в комплекте с вспомогательными приспособлениями (например, адаптерами), необходимыми для получения входного и выходного электрического сигнала.

Средство измерений рекомендуется представлять на испытания вместе с вибрационным калибратором.

12.4 Проверка маркировки и технической документации

Необходимо убедиться, что маркировка виброметра соответствует требованиям раздела 9.

Перед проведением испытаний необходимо убедиться, что техническая документация на средство измерений содержит все сведения, указанные в разделе 10, в соответствии с назначением данного средства измерений.

По завершении испытаний все положения технической документации должны быть заново пересмотрены, чтобы убедиться в их правильности и в том, что все заявленные параметры находятся в пределах допусков, установленных настоящим стандартом.

12.5 Проверка общих характеристик

Необходимо убедиться, что средство измерений соответствует требованиям 5.1.

Для средства измерений с несколькими диапазонами измерений необходимо убедиться, что перекрытие диапазонов соответствует требованиям 5.7.

Необходимо убедиться, что показывающие устройства средства измерений соответствуют требованиям 5.2.

Если технической документацией предписано использование батарей питания конкретной модели и типа, то испытания проводят с использованием таких батарей.

Если средство измерений не удовлетворяет требованиям, перечисленным в настоящем подразделе, испытания на соответствие требованиям настоящего стандарта не проводят.

12.6 Подготовка средства измерений к испытаниям

Перед проведением любых испытаний средство измерений должно быть обеспечено напряжением питания в пределах, указанных изготовителем. Средство измерений, включая преобразователь вибрации, и вибрационный калибратор (если он представлен на испытания) должны быть подвергнуты визуальному осмотру. Все элементы управления виброметром должны быть проверены, чтобы убедиться в их правильном функционировании.

В соответствии с технической документацией устанавливают коэффициент преобразования на частоте проверки калибровки. Выполняют все регулировки по 5.4 и указанные в технической документации в отношении коэффициента преобразования, добиваясь получения на показывающем устройстве виброметра требуемого значения для нормальных условий измерений.

12.7 Показания для опорного сигнала в нормальных условиях измерений

Определяют процентное отклонение ε показываемого виброметром значения параметра ускорения a_{test} для опорного сигнала (см. таблицу 1) относительно результата измерений a_{ref} того же параметра в той же точке с помощью эталонного акселерометра по формуле

$$\varepsilon = \frac{a_{test} - a_{ref}}{a_{ref}} \cdot 100. \quad (8)$$

Примечание — Величина ε является относительной погрешностью измерения.

Для этого вначале с помощью эталонного преобразователя вибрации измеряют параметр воспроизводимого опорного сигнала, а затем выполняют измерение испытуемым средством измерений. Средство измерений устанавливают в режим измерений с полосовым фильтром и линейным интегрированием в опорном диапазоне и проводят измерения в течение времени, достаточного для стабилизации показаний (это время может достигать 30 с для локальной вибрации, 1 мин для общей вибрации и 5 мин для общей низкочастотной вибрации). Среднеквадратичное значение ускорения на входе измерительной цепи, состоящее из полезного сигнала и фоновой вибрации, должно превышать среднеквадратичное значение фоновой вибрации, измеренное тем же испытуемым средством измерений, не менее чем в 10 раз.

Для определения относительной погрешности измерения проводят не менее трех измерений. В каждом измерении регистрацию показаний виброметра осуществляют после достижения средством измерения равновесного состояния с окружающей средой в течение времени, указанного в технической документации. Разность между минимальным и максимальным показаниями для серии из трех измерений не должна превышать 3 %.

Среднеарифметическое значение погрешности измерений должно быть в пределах допусков, установленных в таблице 2. Максимальная расширенная неопределенность измерения — 2 %.

Для каждой частотной коррекции, предусмотренной средством измерений, на электрический вход подают стационарный синусоидальный сигнал на соответствующей частоте опорного сигнала. Регулируют амплитуду входного электрического сигнала таким образом, чтобы после прохождения полосового фильтра, соответствующего выбранной частотной коррекции, показание средства измерений совпадало с опорным значением параметра вибрации. Для отрегулированного входного электрического сигнала проводят измерение параметра корректированного ускорения. Разность между полученным показанием и соответствующим опорным значением параметра вибрации, умноженным на значение функции частотной коррекции на частоте опорного сигнала (см. таблицу 1), должна быть в пределах допуска, установленного в таблице 2. Максимальная расширенная неопределенность измерения — 2 %.

Для виброметра, предусматривающего измерение текущего среднеквадратичного значения, на входное устройство подают стационарный синусоидальный электрический сигнал на частоте опорного сигнала. Амплитуду входного сигнала регулируют таким образом, чтобы показания средства измерений в режиме полосовой фильтрации сигнала в заданном опорном диапазоне совпадали с заданным значением параметра вибрации опорного сигнала. После этого виброметр устанавливают в режим измерения текущего среднеквадратичного значения полосового сигнала. Показываемое значение измеряемой величины не должно отличаться от значения параметра вибрации опорного сигнала более чем на значение допуска, установленного в таблице 2. Максимальная расширенная неопределенность измерения — 2 %.

12.8 Взаимное влияние измерительных каналов

Для средства измерений, имеющего два или более измерительных каналов (например, предназначенного для измерений трехкомпонентной вибрации), проводят испытания с целью определить помехи, создаваемые каналами друг другу.

Все каналы должны быть настроены на измерения в опорном диапазоне. На электрический вход каждого канала по очереди подают сигнал на частоте опорного сигнала, при этом входы всех остальных каналов должны быть нагружены соответствующими электрическими эквивалентами преобразователя. Амплитуда тестового сигнала должна быть в пределах 5 дБ верхней границы диапазона измерений. В процессе испытания контролируют выход каждого из каналов.

В отношении выходного сигнала для каждого из каналов должны быть выполнены требования 5.16.

12.9 Преобразователь вибрации

Характеристики акселерометра (см. приложение Е) проверяют одним из методов согласно *ГОСТ ISO 16063-1*.

12.10 Отклонение от линейности и индикация слабого сигнала

12.10.1 Проверка линейности с использованием электрического сигнала

Проверку линейности преобразования сигнала средством измерений проводят с использованием тестового стационарного синусоидального электрического сигнала на частотах, указанных в таблице 14. Средство измерений устанавливают в режим измерений параметра вибрации, получаемого интегрированием на заданном интервале времени после прохождения полосового фильтра.

Таблица 14 — Частоты и приращения амплитуды тестового сигнала при проверке линейности

Применение	Частоты тестового сигнала[a], Гц	Приращения амплитуды тестового сигнала, дБ	
		в пределах 5 дБ от границ индикации перегрузки и слабого сигнала	на других участках диапазонов измерений
Локальная вибрация	8; 80; 800	1	5
Общая вибрация	1; 4; 16; 63	1	5
Общая низкочастотная вибрация	0,2; 0,4	1	5
[a] Указаны номинальные среднегеометрические частоты третьоктавных полос. При испытаниях следует использовать точные значения, например вместо 8 Гц — $10^{9/10}$ Гц ≈ 7,943 Гц.			

Вначале осуществляют регулировку входного сигнала на частоте опорного сигнала. Для этого амплитуду входного сигнала подбирают таким образом, чтобы при измерении в опорном диапазоне средство измерений показывало значение параметра вибрации опорного сигнала.

При испытаниях в других диапазонах на каждой тестовой частоте стартовой точкой будет тестовый сигнал с амплитудой, равной амплитуде опорного сигнала в опорном диапазоне, умноженной на коэффициент усиления для данного диапазона измерений по отношению к опорному диапазону.

В опорном диапазоне измерений амплитуду входного сигнала на тестовой частоте повышают с шагом приращения, указанным в таблице 14, от нижней границы диапазона до того значения, при котором впервые появляется индикация перегрузки. После этого амплитуду входного сигнала понижают с шагом, указанным в таблице 14, от значения, когда впервые наблюдалась индикация перегрузки до заданной нижней границы диапазона. При этом регистрируют значения амплитуд входного сигнала и соответствующие им показания средства измерений.

Для каждой тестовой частоты и амплитуды сигнала — от нижней границы опорного диапазона до первого появления индикации перегрузки — отклонения от линейности должны быть в пределах допуска по 5.7. Протяженность линейного рабочего диапазона на опорной частоте в опорном диапазоне измерений должна удовлетворять требованиям к линейному рабочему диапазону по 5.7. Максимальная расширенная неопределенность измерения — 2 %.

После испытаний в опорном диапазоне измерений проверку линейности осуществляют во всех других диапазонах. Испытания в каждом диапазоне проводят для частот и приращений амплитуды сигнала, указанных в таблице 14, начиная от стартовой точки и двигаясь вниз до нижней границы диапазона, а затем вверх до верхней границы диапазона.

В каждом диапазоне измерений отклонение от линейности по амплитуде должно быть в пределах допуска по 5.7 для всего линейного рабочего диапазона, указанного в технической документации, вплоть до первого появления индикации перегрузки. Максимальная расширенная неопределенность измерения — 2 %.

Для средства измерений текущего значения параметра вибрации, у которого линейный рабочий диапазон превышает диапазон значений показывающего устройства, линейность может быть проверена с использованием тональных посылок, для которой амплитуда сигнала заполнения превышает верхнюю границу показываемых значений.

Для средства измерений параметра вибрации, получаемого усреднением на заданном интервале времени, у которого линейный рабочий диапазон превышает диапазон значений показывающего устройства, линейность может быть проверена с использованием тональных посылок, вырезанных

из стационарных входных сигналов. Длительность посылки должна быть не менее 30 с для локальной вибрации и 5 мин для общей вибрации (для общей низкочастотной вибрации это испытание не проводят). Время интегрирования должно превышать длительность посылки.

При измерениях в каждом диапазоне и на каждой тестовой частоте не должно наблюдаться индикации слабого сигнала, когда показание средства измерений выше или равно указанной нижней границе диапазона. Эта индикация должна появляться, как только уровень сигнала понижается на 1 дБ относительно нижней границы данного диапазона измерений.

12.10.2 Проверка линейности с использованием возбуждения вибрации

Проверку линейности преобразования сигнала средством измерений проводят с использованием возбуждения гармонической вибрацией на тестовых частотах, указанных в таблице 14. Средство измерений устанавливают в режим измерений параметра вибрации, получаемого интегрированием на заданном интервале времени после прохождения полосового фильтра. Отклонение от линейности по разности между показанием средства измерений и соответствующего значения параметра вибрации, полученного измерением с помощью эталонного акселерометра. Преобразователь вибрации, входящий в состав испытуемого средства измерений, и эталонный акселерометр устанавливают так, как предписано *ГОСТ ISO 16063-21*.

При испытаниях на каждой тестовой частоте в любом диапазоне измерений стартовой точкой будет тестовое воздействие с параметром вибрации опорного сигнала, умноженным на коэффициент усиления для данного диапазона измерений по отношению к опорному диапазону.

Испытания начинают с возбуждения вибрации на частоте опорного сигнала в основании преобразователя вибрации. Входное возбуждение регулируют таким образом, чтобы показание средства измерений в опорном диапазоне совпадало со значением параметра вибрации опорного сигнала.

Проверку линейности с использованием возбуждения вибрации осуществляют в диапазоне не менее 40 дБ.

В опорном диапазоне измерений параметр вибрации на тестовой частоте повышают с шагом приращения, указанным в таблице 14, от нижней границы диапазона до первого из следующих событий:

- появления индикации перегрузки;
- достижения максимальной вибрации, допускаемой устройством возбуждения;
- достижения верхней границы диапазона линейности эталонного преобразователя.

После этого амплитуду вибрации понижают с шагом, указанным в таблице 14, до первого из следующих пределов:

- достижения заданной нижней границы средства измерений;
- достижения минимальной вибрации, обеспечиваемой устройством возбуждения;
- достижения нижней границы диапазона линейности эталонного преобразователя.

В процессе испытаний регистрируют каждое значение, полученное с помощью эталонного акселерометра, и соответствующее ему показание средства измерений.

При определении параметра воспроизведенной вибрации учитывают характеристику линейности эталонного акселерометра.

Для каждой тестовой частоты и значения параметра вибрации — от установленной нижней границы опорного диапазона измерений до вызывающего появление индикации перегрузки — отклонения от линейности должны быть в пределах допуска по 5.7. Протяженность линейного рабочего диапазона на частоте опорного сигнала в опорном диапазоне измерений должна удовлетворять требованиям к линейному рабочему диапазону по 5.7. Максимальная расширенная неопределенность измерения — 3 %.

После испытаний в опорном диапазоне измерений проверяют линейность по амплитуде во всех других диапазонах. Испытания проводят для частот и приращений параметра вибрации, указанных в таблице 14, от стартовой точки вниз до нижней границы и вверх до верхней границы каждого диапазона измерений.

В каждом диапазоне измерений отклонение от линейности по амплитуде должно быть в пределах допуска по 5.7 во всем линейном рабочем диапазоне, указанном в технической документации. Максимальная расширенная неопределенность измерения — 4 %.

12.11 Частотные коррекции и передаточные функции фильтров

12.11.1 Общие положения

Методы оценки действительных функций частотной коррекции и передаточных функций соответствующих фильтров установлены в предположении, что у средства измерений отсутствует электрический выход. Если электрический выход имеется и может быть использован в целях испытаний,

то вначале устанавливают соответствие между показываемым значением параметра корректированного ускорения и напряжением на электрическом выходе. Получаемые данные не следует интерпретировать в терминах отклонения от линейности.

Для каждого из возможных применений средства измерений (измерение локальной, общей или общей низкочастотной вибрации) выбирают одну частотную коррекцию, которую в дальнейшем используют при проведении испытаний с использованием как электрического тестового сигнала, так и тестового механического (вибрационного) возбуждения. Для остальных частотных коррекций, предусмотренных средством измерений, испытания проводят только с одним тестовым воздействием — электрическим или механическим.

Испытания проводят по возможности в опорном диапазоне измерений. При отсутствии уверенности в том, что требования к частотным коррекциям и передаточным функциям одинаково соблюдены для разных диапазонов измерений, проводят дополнительные испытания в других диапазонах. Все измерения выполняют в той области измерительного диапазона, где отклонения от линейности находятся в пределах допуска по 5.7.

Испытания проводят с шагом приращения частоты не более чем в треть октавы в диапазонах частот, указанных в таблице 15.

Таблица 15 — Частоты тестовых воздействий (электрического и механического)

Применение	Диапазон частот тестовых воздействий [a], Гц	
	Электрический сигнал	Механическое возбуждение
Локальная вибрация	От 4 до 2000	От 8 до 2000
Общая вибрация	От 0,25 до 160	От 0,5 до 160
Общая низкочастотная вибрация	От 0,05 до 1	0,4; 0,5
[a] Указаны номинальные среднегеометрические частоты третьоктавных полос. При испытаниях следует использовать их точные значения (например, вместо 8 Гц — $10^{9/10}$ Гц ≈ 7,943 Гц).		

Примечание 1 — В настоящем подразделе рассматривается относительное отклонение (действительного значения частотной характеристики от ее номинального значения) ε, выражаемое в процентах.

Примечание 2 — В 12.11.1 и 12.11.2 рассматриваются методы определения амплитудной характеристики средства измерений. Отклонение фазовой характеристики рассматривается в приложении Н.

12.11.2 Испытания с использованием механического возбуждения

Отклонение частотной характеристики определяют методом сравнения с результатом измерения некорректированного ускорения эталонным преобразователем вибрации как разность между среднеквадратичным значением корректированного ускорения, показанного виброметром, и произведением среднеквадратичного значения ускорения, полученного с помощью эталонного акселерометра, на значение функции частотной коррекции для данной частоты возбуждения. Акселерометр, входящий в состав испытуемого средства измерений, и эталонный акселерометр устанавливают так, как предписано *ГОСТ ISO 16063-21*.

Вначале осуществляют регулировку уровня возбуждения на частоте опорного сигнала таким образом, чтобы показанное виброметром среднеквадратичное значение ускорения после полосовой фильтрации на 20 дБ превышало нижнюю границу заданного линейного рабочего диапазона. Полученное таким образом среднеквадратичное ускорение возбуждения a_{in} используют как базовое значение для входного воздействия в последующих испытаниях.

Для каждой тестовой частоты с помощью эталонного акселерометра регулируют среднеквадратичное значение ускорения возбуждаемой вибрации таким образом, чтобы оно было равно a_{in}. Указанное значение вместе с соответствующим ему показанием средства измерений a_{ind} регистрируют для каждой тестовой частоты, определенной в соответствии с таблицей 15 для механического возбуждения.

Относительное отклонение $\varepsilon(f)$ частотной характеристики на частоте f, %, вычисляют по формуле

$$\varepsilon(f) = \frac{a_{ind} - a_{in}(f)w(f)}{a_{in}(f)w(f)} \cdot 100, \quad (9)$$

где $w(f)$ — значение функции частотной коррекции на частоте f.

При установлении постоянного уровня возбуждения a_{in} для разных тестовых частот учитывают частотную характеристику эталонного акселерометра.

Если значение a_{in} невозможно поддерживать заданным во всем диапазоне частот, то в показанное виброметром значение вносят соответствующую поправку, определяемую разностью между результатами измерений эталонным акселерометром на тестовой частоте и на частоте опорного сигнала.

Максимальная расширенная неопределенность измерения на всех частотах номинального диапазона частот виброметра — 4,5 %.

Примечание — Если коэффициент преобразования преобразователя вибрации и передаточную функцию электрической цепи средства измерений определяют по отдельности, тогда относительное отклонение $\varepsilon(f)$ вычисляют по формуле

$$\varepsilon(f) = \varepsilon_t(f) + \varepsilon_e(f), \tag{10}$$

где $\varepsilon_t(f)$ — относительное отклонение коэффициента преобразования преобразователя вибрации на частоте f;

$\varepsilon_e(f)$ — относительное отклонение частотной характеристики электрической цепи на частоте f.

Для каждого из слагаемых в правой части формулы (10) учитывают помимо полученного значения ($\varepsilon_{m,t}$ и $\varepsilon_{m,e}$ соответственно) также относительную расширенную неопределенность ($u_{m,t}$ и $u_{m,e}$ соответственно):

$$\varepsilon_t = \sqrt{\varepsilon_{m,t}^2 + u_{m,t}^2};\ \ \varepsilon_e = \sqrt{\varepsilon_{m,e}^2 + u_{m,e}^2}. \tag{11}$$

В приложении F приведена информация об испытании системы крепления акселерометра, если та входит в комплект поставки средства измерений.

12.11.3 Испытания с использованием электрического тестового сигнала

Синусоидальный электрический сигнал подают на электрический вход виброметра.

Осуществляют регулировку тестового сигнала на частоте опорного сигнала f_{ref} таким образом, чтобы показанное виброметром среднеквадратичное значение полосового сигнала a_{ind} на 20 дБ превышало нижнюю границу заданного линейного рабочего диапазона. Данное значение используют как базовое для последующих испытаний.

На каждой тестовой частоте среднеквадратичное значение входного электрического сигнала u_{in} регулируют таким образом, чтобы показываемое виброметром значение a_{ind} оставалось неизменным. Значения u_{in} и a_{ind} регистрируют для каждой тестовой частоты, определенной в соответствии с таблицей 15 для электрического сигнала.

Долю относительного отклонения частотной характеристики на частоте f, вносимую электрической частью измерительной цепи, $\varepsilon_e(f)$, %, вычисляют по формуле

$$\varepsilon_e(f) = \left[a_{ind} - \frac{u_{in}(f)}{S}w(f)\right] \Big/ \left[\frac{u_{in}(f)}{S}w(f)\right] \cdot 100 = \left[\frac{u_{in}(f_{ref})w(f_{ref})}{u_{in}(f)w(f)} - 1\right] \cdot 100, \tag{12}$$

где $w(f)$ — значение функции частотной коррекции на частоте f;

S — коэффициент преобразования, вычисляемый по формуле

$$S = \frac{u_{in}(f_{ref})w(f_{ref})}{a_{ind}}. \tag{13}$$

На каждой тестовой частоте сумма среднеквадратичных значений входного сигнала и собственного шума измерительной цепи должна по крайней мере в 10 раз превышать среднеквадратичное значение собственного шума.

Если показание a_{ind} невозможно поддерживать постоянным во всем диапазоне частот, то в показанное виброметром значение вносят поправку, определяемую разностью между значениями u_{in} для тестовой частоты и для частоты опорного сигнала. Кроме того, при использовании на разных тестовых частотах разных значений u_{in} в показываемое значение при необходимости следует внести соответствующую поправку на нелинейность.

Максимальная расширенная неопределенность для всех тестовых частот — 3 %.

12.11.4 Подтверждение соответствия требованиям

Для тех частотных коррекций, где в процессе испытаний использовано механическое воздействие, относительное отклонение частотной характеристики определяют непосредственно по результатам испытаний как $\varepsilon(f)$ [см. формулу (9)]. Если во время испытаний использован только электрический тестовый сигнал, тогда для получения общего относительного отклонения частотной характеристики необходимо принимать во внимание относительное отклонение коэффициента преобразования преобразователя вибрации $\varepsilon_t(f)$. Эту величину определяют как разность значений $\varepsilon(f)$ и $\varepsilon_e(f)$, полученных при испытаниях с использованием как электрического, так и механического тестового воздействия [см. формулу (10)].

Пример — Виброметр позволяет проводить измерения для двух частотных коррекций: W_d и W_k. Для W_d испытания проводят с использованием электрического и механического тестовых воздействий. Относительное отклонение коэффициента преобразования преобразователя вибрации определяют как разность между относительными отклонениями, полученными с использованием механического и электрического тестовых воздействий. Это отклонение добавляют к полученному с использованием электрического тестового сигнала для частотной коррекции W_k, чтобы получить общее относительное отклонение для данной частотной коррекции.

Для всех реализуемых средством измерений частотных коррекций относительное отклонение частотной характеристики должно быть в пределах допуска по 5.6. Максимальная расширенная неопределенность для всех тестовых частот — 5 %.

Если средство измерений позволяет проводить измерения с использованием дополнительных частотных коррекций, то для них соответствие подтверждают с учетом их назначения и допусков, установленных технической документацией.

12.12 Собственный шум измерительной цепи

Собственный шум измерительной цепи определяют усреднением результатов десяти измерений вибрации с использованием преобразователя вибрации, установленного на невибрирующем объекте. Следует убедиться, что полученное усредненное значение превышает соответствующую характеристику вибрации объекта, условно принятого за невибрирующий, не менее чем на 10 дБ (предпочтительнее 20 дБ).

В процессе испытаний проводят измерения как среднеквадратичного значения корректированного ускорения, так и текущего среднеквадратичного значения корректированного ускорения. При измерении среднеквадратичного значения ускорения период интегрирования выбирают равным 1 мин в режиме измерения локальной вибрации, 5 мин в режиме измерения общей вибрации и 30 мин в режиме измерения общей низкочастотной вибрации. Полученные результаты должны согласовываться со значениями, приведенными в технической документации (см. 5.8).

12.13 Показания в ответ на сигнальные посылки

Средство измерений устанавливают в режим полосовой фильтрации для заданной частотной коррекции в опорном диапазоне измерений. Подают на вход стационарный синусоидальный электрический сигнал на частоте, определенной в таблице 6, и регулируют амплитуду сигнала таким образом, чтобы показанное средством измерений значение соответствовало 50 % верхней границы линейного рабочего диапазона. После этого проводят испытания для всех измеряемых параметров вибрации с использованием последовательностей сигнальных посылок, как определено в таблице 6.

Время спада пилообразного импульса не должно превышать $1/(5f_2)$, где f_2 — верхняя граница полосового фильтра для данной частотной коррекции, определенная в таблице 3.

Воспроизведение пилообразного импульса может сопровождаться высокочастотными переходными процессами. Чтобы исключить их влияние на результат измерений, может оказаться необходимым включить в цепь между генератором пилообразных импульсов и электрическим входом испытуемого виброметра однополюсный фильтр нижних частот. Частота среза фильтра должна быть достаточно высокой, чтобы исключить его влияние на результаты измерений, например $100f_2$.

Измерения с использованием тестового сигнала повторяют, последовательно уменьшая пиковое значение входного сигнала в 10 раз, но не ниже уровня, определяемого по показанию виброметра, в три раза превышающего нижнюю границу линейного рабочего диапазона.

Затем измерения повторяют с посылкой с одним периодом заполнения, повышая пиковое значение импульса до тех пор, пока не появится индикация перегрузки.

Показания средства измерений в ответ на последовательность сигнальных посылок относительно заданного значения измеряемого параметра тестового сигнала должны быть в пределах допуска, как указано в таблицах 7—9. Максимальная расширенная неопределенность измерения — 3 %.

12.14 Индикация перегрузки

Индикацию перегрузки проверяют, подавая на электрический вход сигналы в виде последовательностей положительных и отрицательных полусинусоид на частоте опорного сигнала, а также на частотах, указанных в таблице 14. Средство измерений устанавливают в режим полосовой фильтрации в опорном диапазоне частот. Подавая на вход сигнал в форме положительной полусинусоиды, повышают

его уровень до тех пор, пока не появится сигнал перегрузки. Затем ту же процедуру повторяют для сигнала в форме отрицательной полусинусоиды. В обоих случаях регистрируют пиковое значение сигнала, при котором наступает состояние перегрузки. Разность между этими пиковыми значениями не должна превышать пределов допуска, установленных в 5.10. Максимальная расширенная неопределенность измерения — 2 %.

Примечание — Кроме испытаний на частотах, установленных в настоящем разделе, испытания на индикацию перегрузки могут быть проведены на других частотах по выбору испытательной лаборатории.

Индикатор перегрузки должен работать при значениях входного сигнала в диапазоне от наименьшего уровня, вызывающего перегрузку, до максимального уровня, определенного в технической документации.

При измерениях параметров вибрации, требующих усреднения на заданном интервале времени, или пиковых значений индикатор перегрузки должен начать индикацию по достижении состояния перегрузки и удерживать ее, как указано в 5.10. Если средство измерений используют для измерений текущих значений параметра вибрации, то индикатор перегрузки должен работать так, как указано в 5.10.

12.15 Сброс результатов измерения

Следует подтвердить, что устройство сброса показаний позволяет обнулить показания данного показывающего устройства, не вызывая при этом неверных индикаций и показаний на других показывающих устройствах.

12.16 Измерение полной вибрации

В процессе данного испытания проверяют, удовлетворяет ли процедура суммирования результатов измерения вибрации по нескольким направлениям требованиям соответствующих стандартов, определяющих правила измерения, например полной локальной вибрации или полной дозы вибрации.

Средство измерений устанавливают в режим измерений параметра вибрации в опорном диапазоне. Электрический сигнал, соответствующий опорному сигналу вибрации, по очереди подают на вход каждого канала, соответствующего своей измерительной оси. Полученный для данной оси результат измерений фиксируют и используют для расчета полной вибрации согласно соответствующему стандарту: *ГОСТ 31191.1*, *ГОСТ 31191.2*, *ГОСТ 31191.4* или *ГОСТ 31192.1*. Далее тот же опорный сигнал одновременно подают на все три измерительных канала. Разность между показанным и расчетным значениями должна быть в пределах ±3 %.

После этого сигнал на входе одного из каналов инвертируют (изменяют фазу на 180°) и снова измеряют полную вибрацию. Полученный результат не должен отличаться от предыдущего более чем на 2 %.

При измерениях общей вибрации частотные коррекции, используемые для измерений вибрации в направлениях *x*, *y* и *z*, а также коэффициенты *k*, применяемые для измерений по каждой из осей, зависят от назначения измерений — будут ли они использованы для оценки влияния вибрации на состояние здоровья, комфорт или для проверки чувствительности к вибрации. Расчетные значения получают в соответствии с ГОСТ *31191.1*.

12.17 Электрический выход

Электрический сигнал, соответствующий опорному сигналу вибрации в опорном диапазоне измерений, подают на вход виброметра, после чего регистрируют показания средства измерений. Затем электрический выход замыкают накоротко и вновь регистрируют показания. Разность между двумя показаниями должна быть в пределах допуска, установленного в 5.3.

12.18 Устройства измерения времени

Необходимо подтвердить, что минимальный период интегрирования при усреднении сигнала вибрации по времени не превосходит значения, заявленного в технической документации, а максимальный период интегрирования при усреднении по времени не меньше соответствующего заявленного значения.

Устанавливают время измерения вибрации, равное 2000 с. Фактическая продолжительность измерения не должна отличаться от установленного значения более чем на ±2 с (±0,1 %). Максимальная расширенная неопределенность измерения — 0,01 %.

12.19 Питание

С помощью калибратора, поставляемого вместе со средством измерений, возбуждают вибрацию в опорном диапазоне измерений, после чего записывают показания, полученные при номинальном и минимально допустимом по технической документации напряжении питания. Полученные результаты измерений должны быть одинаковыми в пределах допуска по 5.18.

Примечание — Под питанием понимают также питание от батарей.

12.20 Внешние воздействия и электромагнитная совместимость

12.20.1 Общие положения

Полностью собранное и готовое к проведению измерений средство измерений должно удовлетворять всем требованиям настоящего подраздела с учетом особенностей его назначения. Акселерометр должен быть соединен с измерительным блоком таким образом, чтобы обеспечить нормальный режим работы в соответствии с технической документацией.

Все требования по чувствительности к воздействию внешних факторов проверяют для включенного средства измерений, настроенного на функционирование в нормальном режиме работы.

Перед проведением испытаний (но не в их процессе) необходимо проверить показания на частоте проверки калибровки с помощью калибратора (см. 5.4) и, при необходимости, выполнить соответствующие регулировки, чтобы показания средства измерений соответствовали значению опорного сигнала вибрации в нормальных условиях. Для регулировки следует использовать процедуры, указанные в технической документации.

Поскольку вибрация, воспроизводимая калибратором, также может изменяться при изменении внешних воздействующих факторов, это влияние следует учитывать, как указано в технической документации.

Регистрируют значения внешних воздействующих факторов, имевших место во время проверки показаний средства измерений. При проведении испытаний используют калибратор, воспроизводящий заданный сигнал вибрации. Средство измерений устанавливают в режим измерений среднеквадратичного значения корректированного ускорения.

Для всех условий испытаний регистрируют показания параметров, получаемых интегрированием на заданном интервале времени, в ответ на вибрацию, возбуждаемую калибратором.

12.20.2 Расширенная неопределенность при измерениях климатических факторов

Расширенная неопределенность не должна превышать 0,5 °С при измерениях температуры воздуха и 10 % при измерениях относительной влажности воздуха.

12.20.3 Выдержка перед проведением испытаний на влияние климатических факторов

При проведении испытаний на влияние температуры воздуха и относительной влажности воздуха на работу средства измерений калибратор и средство измерений (или его элементы) устанавливают в климатической камере.

На период выдержки акселерометр должен быть удален со стола вибростенда, а питание как калибратора, так и виброметра должно быть отключено.

Продолжительность выдержки калибратора и виброметра в нормальных условиях окружающей среды — не менее 12 ч.

По завершении периода выдержки акселерометр устанавливают на стол калибратора и включают питание калибратора и виброметра.

12.20.4 Комбинированные испытания на влияние температуры и относительной влажности воздуха

По завершении периода выдержки (12.20.3) калибратором воспроизводят заданное вибрационное возбуждение и регистрируют показания средства измерений для приведенных ниже сочетаний значений температуры и относительной влажности воздуха. Для средства измерений, у которого все элементы могут нормально функционировать в условиях температуры и относительной влажности, указанных в 7.2, испытания проводят при следующих сочетаниях факторов:

- нормальные условия по температуре и относительной влажности воздуха;
- температура воздуха минус 10 °С, относительная влажность 65 %;
- температура воздуха 5 °С, относительная влажность 25 %;
- температура воздуха 40 °С, относительная влажность 90 %;
- температура воздуха 50 °С, относительная влажность 50 %.

Для всех условий испытаний отклонение показываемого значения параметра вибрации от полученного в нормальных условиях температуры и относительной влажности воздуха не должно превышать значения, установленного в 7.2.

12.20.5 Влияние температуры поверхности

После соответствующей выдержки калибратором воспроизводят вибрацию в нормальных условиях температуры и относительной влажности воздуха и регистрируют результаты измерений для приведенных ниже значений температуры вибрирующей поверхности. Акселерометр с соответствующей системой крепления устанавливают непосредственно на поверхность, температуру которой поддерживают в пределах ±5 °С при следующих заданных значениях:

- нормальная температура;
- температура поверхности минус 10 °С;
- температура поверхности 5 °С;
- температура поверхности 40 °С;
- температура поверхности 50 °С.

Для всех условий испытаний отклонение измеренного значения вибрации от полученного в нормальных условиях температуры поверхности не должно превышать значения, установленного в 7.3.

12.20.6 Влияние электростатических разрядов

Оборудование, необходимое для определения влияния электростатических разрядов на работу средства измерений, должно соответствовать требованиям *ГОСТ 30804.4.2—2013* (раздел 6). Испытательная установка и процедуры испытаний должны соответствовать требованиям *ГОСТ 30804.4.2—2013* (разделы 7 и 8).

Испытания на воздействие электростатического разряда проводят в режиме работы средства измерений, когда оно наиболее восприимчиво к действию разряда, что должно быть определено в ходе предшествующих испытаний. Ко всем каналам измерений должны быть подсоединены акселерометры. Если к средству измерений подсоединены устройства, которые согласно технической документации не требуются для его работы в нормальном режиме применения, используемые для этого соединительные кабели должны быть разъединены. Конфигурация средства измерений, установленная для проведения испытаний, должна быть зафиксирована.

Не следует производить разрядов электростатического напряжения на утопленные вглубь контакты электрических разъемов.

Электростатические разряды напряжением и полярностью, указанными в 7.4, должны быть приложены 10 раз контактным способом и 10 раз через воздух. Точки, на которые подают разряды, определяют по выбору испытательной лаборатории (см. *ГОСТ 30804.4.2*). При этом данные точки должны быть доступны при нормальном использовании средства измерений. Если в соответствии с требованиями пользователя ему необходим доступ к точкам внутри виброметра, то эти точки также должны быть использованы в процессе испытаний, если только руководство по эксплуатации средства измерений не содержит предупреждения о возможном повреждении при доступе внутрь вследствие возможных электростатических разрядов.

Необходимо обращать внимание на то, чтобы воздействие разряда и вызываемые им процессы заканчивались полностью до приложения следующего разряда.

Средство измерений устанавливают в режим измерений в опорном диапазоне, напряжения контактного и воздушного разрядов должны принимать максимальные положительные и отрицательные значения.

После приложения разряда средство измерений должно возвращаться в то же рабочее состояние, что и до разряда. Любые данные, хранимые средством измерений до разряда, не должны изменяться после его воздействия. В процессе приложения разряда допустимы незначительные сбои в работе средства измерений.

12.20.7 Излучение радиочастотного поля и возмущения в сети питания

Уровни напряженности поля излучения в области радиочастот в децибелах относительно опорного значения 1 мкВ/м измеряют прибором с квазипиковым детектором в диапазонах частот, определенных в 7.5. Измерительные приемники, антенны и процедуры испытаний должны соответствовать требованиям *ГОСТ 30805.22—2013* (раздел 10). Уровни излучений должны соответствовать требованиям 7.5. Следует зарегистрировать условия окружающей среды, которые имели место на момент испытаний. Испытания на излучение радиочастотного поля проводят для средства измерений, работающего в режиме, установленном технической документацией, когда его излучение максимально.

Приспособления и крепления, используемые для сохранения заданного положения виброметра, не должны оказывать существенного влияния на измерения излучаемых им полей.

Вначале уровни излучения измеряют в диапазонах частот, установленных в 7.5, в основной плоскости излучения средства измерений при его нормальной ориентации. Присоединенный через кабель акселерометр располагают над центром корпуса виброметра на высоте приблизительно 250 мм. Если длина кабеля превышает 250 мм, он должен быть свернут восьмеркой с четным числом колец равной длины; все кольца должны быть скреплены между собой у каждого из краев и в середине.

При сохранении данного взаимного расположения акселерометра, кабеля и измерительного блока измеряют уровни радиочастотного излучения еще по крайней мере в одной плоскости излучения. Дополнительные плоскости излучения должны быть примерно ортогональны основной плоскости для данной ориентации средства измерений в пределах, установленных для оборудования при измерениях радиочастотного излучения.

Если виброметр имеет разъемы для подключения других устройств непосредственно или через соединительные кабели, уровни радиочастотного излучения измеряют после подсоединения всех доступных устройств. Длины кабелей должны соответствовать рекомендациям технической документации. Все кабели должны быть без заглушек и быть установлены так, как предписано *ГОСТ 30805.22—2013* (пункт 8.1), если только устройство, подсоединяемое кабелем, не поставляют в одном комплекте со средством измерений — в этом случае уровни радиочастотного излучения измеряют, когда все устройства соединены между собой установленным способом.

Если устройства могут быть подсоединены разными способами, то измерение уровней радиочастотного излучения проводят для той конфигурации, которая определена в технической документации как производящая излучение наибольшего уровня. Другие конфигурации, для которых имеет место тот же или более низкий уровень излучения, могут быть включены в технической документации в перечень конфигураций, для которых проведение испытаний не требуется, если для основной конфигурации выполнены все требования по 7.5.

Если средство измерений работает от сети переменного тока, то проводят измерения возмущений, вносимых им в сеть, в соответствии с *ГОСТ 30805.22—2013* (раздел 9), и эти возмущения должны удовлетворять требованиям, указанным в 7.5 и таблице 12.

12.20.8 Устойчивость к радиочастотному электромагнитному полю и полям сетевой частоты

В процессе испытаний используют питание виброметра от предпочтительного источника.

Устойчивость к радиочастотному электромагнитному полю и полям сетевой частоты проверяют с использованием тестового вибрационного возбуждения, воспринимаемого преобразователем вибрации, который соединен с виброметром. Тестовое возбуждение представляет собой гармоническую вибрацию на частоте опорного сигнала. В отсутствие радиочастотного электромагнитного поля и полей сетевой частоты среднеквадратичное значение ускорения, полученное в режиме полосовой фильтрации, должно соответствовать значениям таблицы 16. Если средство измерений имеет несколько измерительных диапазонов, то измеренные значения вибрации должны быть показаны в том из них, нижняя граница которого максимально близка к граничным значениям, указанным в таблице 16, но не превышает их.

Таблица 16 — Параметры, применяемые при испытании на устойчивость к радиочастотному электромагнитному полю и полей сетевой частоты

Применение	С.к.з. вибрации, м/с^2	Максимальное значение нижней границы измерительного диапазона, м/с^2
Локальная вибрация	2	1
Общая вибрация	0,2	0,1
Общая низкочастотная вибрация	0,2	0,1

Способ возбуждения вибрации не должен оказывать влияния на тестовые электромагнитные поля. Он не должен также влиять на нормальную работу средства измерений и на его чувствительность к воздействию радиочастотного электромагнитного поля и помех сетевой частоты.

После приложения тестового электромагнитного поля изменение показываемого значения параметра вибрации не должно превышать ±10 %.

Устойчивость средств измерений с входными и, при наличии, выходными портами электропитания переменным током к влиянию кондуктивных помех проверяют в диапазоне частот от 0,15 до 80 МГц. Электромагнитное поле должно быть модулировано синусоидальным сигналом опорной частоты с глубиной модуляции 80 %. В отсутствие модуляции среднеквадратичное значение радиочастотного

напряжения для источника с импедансом 150 Ом должно составлять 10 В. Устойчивость к быстротекущим переходным процессам в сети питания проверяют при воздействии сигнала с пиковым напряжением 2 кВ и частотой повторения 5 кГц в соответствии с *ГОСТ 30804.6.2—2013* (таблица 4). Дополнительные требования по устойчивости к провалам, прерываниям и выбросам напряжения электропитания проверяют по *ГОСТ 30804.6.2—2013* (таблица 4).

Для средств измерений с портами ввода — вывода сигналов или портами управления, у которых длины кабелей, соединяющих различные части измерительной системы, превышают 3 м, проверяют устойчивость к влиянию кондуктивных помех в диапазоне частот от 0,15 до 80 МГц при среднеквадратичном значении напряжения 10 В и отсутствии модуляции по *ГОСТ 30804.6.2—2013* (таблица 2). Устойчивость к быстротекущим переходным процессам в сети питания проверяют при воздействии сигналов с пиковым напряжением 1 кВ и частотой повторения 5 кГц в соответствии с *ГОСТ 30804.6.2—2013* (таблица 2).

Согласно *ГОСТ Р 51317.4.6* средство измерений локальной вибрации испытывают на устойчивость к кондуктивным помехам в заданном диапазоне радиочастот с применением эквивалента руки, охватывающего корпус прибора.

В технической документации может быть указано, что средство измерений удовлетворяет требованиям по устойчивости к воздействию радиочастотного электромагнитного поля и полей сетевой частоты при среднеквадратичных значениях вибрации менее тех, что указаны в таблице 16. В этом случае средство измерений должно удовлетворять требованиям к допустимым изменениям показаний для всех значений параметра вибрации в диапазоне от указанных в таблице 16 до приведенных в технической документации. В процессе испытаний используют более низкие значения вибрации, установленные технической документацией.

12.21 Протокол испытаний

В протоколе испытаний должны быть подробно отражены следующие сведения: конфигурации средства измерений, его положение в пространстве во время испытаний, условия испытаний, результаты испытаний, включая расширенную неопределенность для данной испытательной лаборатории. Протокол испытаний должен содержать заключение о том, удовлетворяет или не удовлетворяет испытуемое средство измерений требованиям настоящего стандарта.

Кроме того, следует включать дополнительную информацию об испытаниях согласно *ГОСТ 30804.4.3—2013* (раздел 8). В протоколе испытаний должны быть отражены все наблюдавшиеся ухудшения в работе средства измерений, отказы в выполнении каких-либо функций или потеря данных в конце серии испытаний на влияние электростатических разрядов, а также на воздействие радиочастотных электромагнитных полей и полей сетевой частоты.

13 Испытания единичного образца

13.1 Общие положения

Под единичным образцом понимают систему измерений вибраций, собранную из отдельных элементов (например, преобразователя вибрации, усилителя, аналого-цифрового преобразователя, устройства сбора данных, анализатора частот, процессора). При этом для каждого элемента системы должен быть определен перечень соответствующих характеристик и требований к ним. В настоящем разделе рассматриваются испытания, проводимые для всей измерительной системы в целом, с целью проверки ее способности выполнять измерения согласно назначению. Зачастую единичный образец измерительной системы собирают в лаборатории из элементов общего назначения. В качестве единичного образца не рассматривают прототип измерительной системы, рассчитанной на последующее серийное производство.

Соответствие требованиям настоящего стандарта считают подтвержденным, если отклонение результата измерений от заданного значения с добавлением расширенной неопределенности, обеспечиваемой испытательной лабораторией, находится в пределах установленного допуска.

Неопределенность измерения определяют в соответствии с *ГОСТ 34100.3*. Расширенную неопределенность рассчитывают в испытательной лаборатории, используя для этого значение коэффициента охвата $k = 2$.

Испытания включают в себя калибровку единичного образца измерительной системы (в том виде, в котором она предполагается к применению конечным пользователем) испытательной (калибровочной) лабораторией.

13.2 Требования испытаний

Все средства измерений, которые применяют в процессе испытаний на подтверждение заявленных характеристик и которые могут вносить вклад в неопределенность измерения, должны обладать прослеживаемостью к эталонам в соответствии с национальной метрологической схемой.

Частота входных сигналов должна находиться в пределах ±0,2 % требуемого значения.

Амплитуда вибрации должна находиться в пределах ±3 % заданного значения.

Коэффициент гармоник для входного электрического сигнала не должен превышать 0,1 %.

Коэффициент гармоник для вибрации на входе не должен превышать 5 %.

Примечание 1 — Для электродинамических вибростендов коэффициент гармоник на частотах ниже 20 Гц обычно будет более 5 %.

Примечание 2 — Определение коэффициента гармоник — в соответствии с формулой (7).

В процессе испытаний параметры окружающей среды должны находиться в следующих пределах:

- температура окружающего воздуха — от 19 °С до 27 °С;
- относительная влажность воздуха — не более 90 % (без выпадения конденсата).

13.3 Объект испытаний

Объектом испытаний является единичный образец средства измерений, образующий вместе с преобразователем(ями) вибрации единую измерительную цепь для определения и отображения параметров полосового сигнала и корректированного ускорения с использованием одной или нескольких частотных коррекций: W_b, W_c, W_d, W_f, W_h, W_j, W_k или W_m.

Примечание — В качестве преобразователя вибрации может быть использован трехкомпонентный или однокомпонентный акселерометр.

При отсутствии иных указаний все испытания, описанные в настоящем разделе, должны быть проведены для каждого канала многоканальной измерительной системы.

Если технической документацией на элементы измерительной системы предписано использование батарей питания конкретной модели и типа, то испытания проводят с использованием таких батарей.

13.4 Представление единичного образца на испытания

На испытания измерительная система должна быть представлена вместе с преобразователем вибрации того типа, что предназначен для использования в составе данной системы.

Допускается использовать измерительную систему с другими преобразователями вибрации при условии, что они обладают такими же характеристиками.

Измерительную систему представляют на испытания в комплекте с вспомогательными приспособлениями (например, адаптерами), необходимыми для получения входного и выходного электрического сигнала.

Измерительную систему рекомендуется представлять на испытания вместе с вибрационным калибратором.

13.5 Проверка маркировки и технической документации

Необходимо убедиться, что маркировка единичного образца соответствует требованиям раздела 9.

Перед проведением испытаний необходимо убедиться, что техническая документация на единичный образец содержит все сведения, требуемые по разделу 10, в соответствии с назначением данной измерительной системы.

По завершении испытаний положения технической документации должны быть заново пересмотрены, чтобы убедиться в их правильности и в том, что все заявленные параметры находятся в пределах допусков, установленных настоящим стандартом.

13.6 Проверка общих характеристик

Необходимо убедиться, что единичный образец соответствует требованиям по 5.1.

Для измерительной системы с несколькими диапазонами измерений необходимо убедиться, что перекрытие диапазонов соответствует требованиям 5.7.

Необходимо убедиться, что показывающие устройства средства измерений соответствуют требованиям 5.2.

13.7 Подготовка единичного образца к испытаниям

Единичный образец, преобразователь вибрации и вибрационный калибратор (если он представлен на испытания) должны быть подвергнуты визуальному контролю. Все элементы управления измерительной системой должны быть проверены, чтобы убедиться в их правильном функционировании.

В соответствии с технической документацией на единичный образец устанавливают коэффициент преобразования на частоте проверки калибровки. Выполняют все регулировки по 5.4 и указанные в технической документации на единичный образец в отношении коэффициента преобразования, добиваясь показаний опорного значения параметра вибрации для нормальных условий измерений.

13.8 Объем испытаний

Проводимые испытания включают в себя определение только тех характеристик единичного образца, которые соответствуют его назначению и относятся к измерительной цепи для следующих возможных применений:

a) измерений локальной вибрации;

b) измерений общей вибрации;

c) измерений общей низкочастотной вибрации.

Примечание — В настоящее время отсутствуют требования к проведению проверки единичных образцов, предназначенных для измерений общей угловой вибрации.

Эти испытания включают в себя приложение механических (вибрационных) тестовых воздействий для проверки всей измерительной цепи, включая акселерометр и установленные фильтры частотной коррекции. Калибровку единичного образца осуществляют только в пределах данных испытаний.

При необходимости пользователь единичного образца может заказать испытания для конфигурации измерительной системы, отличающейся от используемой в обычных условиях применения. При этом в любом случае целью является подтверждение требованиям настоящего стандарта в отношении конфигурации измерительной цепи, фактически применяемой пользователем.

Каждое испытание включает в себя калибровку измерительной цепи с применением воздействия гармонической вибрации заданных амплитуды и частоты. Параметры таких испытаний указаны в 13.10. По итогам испытаний должны быть определены следующие характеристики:

- коэффициент преобразования измерительной цепи;
- отклонения от линейности по амплитуде для нескольких уровней входного воздействия;
- частотная характеристика в ограниченном числе точек;
- собственный шум измерительной системы.

Кроме того, используемые в испытаниях тестовые электрические сигналы позволяют оценить:

- взаимное влияние измерительных каналов;
- индикацию перегрузки;
- работу устройств измерения времени.

13.9 Показания для опорного сигнала в нормальных условиях измерений

Определяют процентное отклонение ε показываемого измерительной системой значения параметра ускорения a_{test} для опорного сигнала (см. таблицу 1) относительно результата измерений a_{ref} того же параметра в той же точке с помощью эталонного акселерометра по формуле

$$\varepsilon = \frac{a_{test} - a_{ref}}{a_{ref}} \cdot 100. \qquad (14)$$

Примечание — Значение ε является относительной погрешностью измерения.

Для этого вначале с помощью эталонного преобразователя вибрации измеряют параметр воспроизводимого опорного сигнала, а затем выполняют измерение испытуемым единичным образцом. Измерительную систему устанавливают в режим полосовой фильтрации с линейным усреднением в опорном диапазоне и проводят измерения в течение времени, достаточного для стабилизации показаний (это время может достигать 30 с для локальной вибрации, 1 мин для общей вибрации и 5 мин для общей низкочастотной вибрации). Сигнал на входе измерительной цепи, состоящий из полезного сигнала и наведенной (фоновой) вибрации, должен превышать наведенную вибрацию (измеренную тем же испытуемым единичным образцом) не менее чем в 10 раз.

Для определения относительной погрешности измерения проводят не менее трех измерений. В каждом измерении регистрацию показаний единичного образца осуществляют после достижения измерительной системой равновесного состояния с окружающей средой в течение времени, указанного в технической документации. Разность между минимальным и максимальным показаниями для серии из трех измерений не должна превышать 3 %.

Среднеарифметическое значение погрешности измерений должно быть в пределах допусков, установленных в таблице 2. Максимальная расширенная неопределенность измерения — 2 %.

Для каждой частотной коррекции, предусмотренной средством измерений, на электрический вход подают стационарный синусоидальный сигнал на соответствующей частоте опорного сигнала. Регулируют амплитуду входного электрического сигнала таким образом, чтобы после прохождения полосового фильтра, соответствующего выбранной частотной коррекции, показание средства измерений совпадало с опорным значением параметра вибрации. С помощью отрегулированного электрического сигнала проводят измерение параметра корректированного ускорения. Разность между полученным показанием и соответствующим опорным значением параметра вибрации, умноженным на значение функции частотной коррекции на частоте опорного сигнала (см. таблицу 1), должна быть в пределах допуска, установленного в таблице 2. Максимальная расширенная неопределенность измерения — 2 %.

Для единичного образца, предусматривающего измерение текущего среднеквадратичного значения, на входное устройство подают стационарный синусоидальный электрический сигнал на частоте опорного сигнала. Амплитуду входного сигнала регулируют таким образом, чтобы показания средства измерений в режиме полосовой фильтрации сигнала в заданном опорном диапазоне совпадали с заданным значением параметра вибрации опорного сигнала. После этого виброметр устанавливают в режим измерения текущего среднеквадратичного значения полосового сигнала. Показываемое значение измеряемой величины не должно отличаться от значения параметра вибрации опорного сигнала более чем на значение допуска, установленного в таблице 2. Максимальная расширенная неопределенность измерения — 2 %.

13.10 Параметры испытаний

13.10.1 Измерительная цепь для измерений локальной вибрации

Частотная коррекция:	W_h.
Частота опорного сигнала:	79,58 Гц.
Среднеквадратичное значение ускорения опорного сигнала:	10 м/с^2.
Диапазон изменения среднеквадратичного значения ускорения вибрации, возбуждаемой при проверке линейности измерительной системы:	от 5 до 100 м/с^2 на частоте 79,58 Гц.
Среднеквадратичные значения ускорения вибрации, применяемые при проверке линейности измерительной системы:	5; 7,5; 10; 25; 50; 75; 100 м/с^2.
Диапазон частот, в котором проверяют отклонение частотной характеристики измерительной системы:	от 5 до 1000 Гц при среднеквадратичном значении ускорения 10 м/с^2.
Значения частот, на которых измеряют отклонение частотной характеристики измерительной системы:	5,012; 6,310; 7,943; 10; 15,85; 31,62; 63,10; 79,43; 125,9; 251,2; 501,2; 794,3; 1000 Гц.

При испытаниях следует убедиться в том, что входной сигнал превышает уровень фона не менее чем на 20 дБ. При необходимости можно повысить уровень возбуждаемой вибростендом вибрации. Следует следить за тем, чтобы искажения формы возбуждаемой вибрации были минимальными, а перемещения стола калибратора не выходили за установленные для него границы.

13.10.2 Измерительная цепь для измерений общей вибрации

Частотные коррекции:	W_b, W_c, W_d, W_j, W_k, W_m.
Частота опорного сигнала:	15,915 Гц.
Среднеквадратичное значение ускорения опорного сигнала:	1,00 м/с^2.

Диапазон изменения среднеквадратичного значения ускорения вибрации, возбуждаемой при проверке линейности измерительной системы:	От 0,1 до 50 м/с^2 на частоте 15,915 Гц.
Среднеквадратичные значения ускорения вибрации, применяемые при проверке линейности измерительной системы:	0,1; 0,25; 0,5; 0,75; 1; 2,5; 5; 7,5; 10; 25; 50 м/с^2.
Диапазон частот, в котором проверяют отклонение частотной характеристики измерительной системы:	От 0,63 до 125 Гц при среднеквадратичном значении ускорения 1,00 м/с^2.
Значения частот, на которых измеряют отклонение частотной характеристики измерительной системы:	0,631; 1; 1,259; 1,995; 3,981; 7,943; 15,85; 31,62; 63,10; 79,43; 125,9 Гц.

При испытаниях следует убедиться в том, что входной сигнал превышает уровень фона не менее чем на 20 дБ. При необходимости можно повысить уровень возбуждаемой вибростендом вибрации. Следует следить за тем, чтобы искажения формы возбуждаемой вибрации были минимальными, а перемещения стола калибратора не выходили за установленные для него границы.

13.10.3 Измерительная цепь для измерений общей низкочастотной вибрации

Частотная коррекция:	W_f
Частота опорного сигнала:	0,3979 Гц.
Среднеквадратичное значение ускорения опорного сигнала:	0,1 м/с^2.
Диапазон изменения среднеквадратичного значения ускорения вибрации, возбуждаемой при проверке линейности измерительной системы:	От 0,01 до 1 м/с^2 на частоте 0,3979 Гц.
Среднеквадратичные значения ускорения вибрации, применяемые при проверке линейности измерительной системы:	0,01; 0,025; 0,05; 0,075; 0,1; 0,25; 0,5; 0,75; 1 м/с^2.
Диапазон частот, в котором проверяют отклонение частотной характеристики измерительной системы:	От 0,1 до 0,5 Гц при среднеквадратичном значении ускорения 0,1 м/с^2.
Значения частот, на которых измеряют отклонение частотной характеристики измерительной системы:	0,1; 0,1259; 0,1995; 0,3981; 0,5012 Гц.

При испытаниях следует убедиться в том, что входной сигнал превышает уровень фона не менее чем на 20 дБ. При необходимости можно повысить уровень возбуждаемой вибростендом вибрации. Следует следить за тем, чтобы искажения формы возбуждаемой вибрации были минимальными, а перемещения стола калибратора не выходили за установленные для него границы. Некоторые сочетания уровня и частоты возбуждения могут превышать возможности вибростенда, о чем необходимо указывать в протоколе испытаний.

13.11 Проведение испытаний

Перед проведением любых испытаний единичный образец должен быть обеспечен напряжением питания в пределах, указанных изготовителем(ями) элементов измерительной системы.

Полный набор испытаний с воспроизведением механических воздействий включает в себя:

- регулировку коэффициента преобразования измерительной цепи на частоте и амплитуде опорного сигнала;
- проверку линейности по амплитуде на частоте опорного сигнала;
- определение частотной характеристики измерительной цепи при постоянной амплитуде вибрации (в пределах возможностей испытательного оборудования).

Преобразователь вибрации должен быть закреплен на установочной поверхности вибростенда способом, позволяющим максимально точно воспринимать вибрационное воздействие. Особое внимание следует уделить тому, чтобы устройство крепления преобразователя не приводило к искажению отклика на высоких частотах.

При испытаниях рекомендуется использовать калибровку преобразователя вибрации методом сравнения согласно ГОСТ *ISO 16063-21*. Оборудование, применяемое для калибровки, должно позволять воспроизводить вибрацию заданного постоянного уровня в течение всего времени измерений.

Испытания проводят для всей испытуемой измерительной системы в сборе, которая обычно включает в себя преобразователь вибрации (акселерометр), соединительный кабель, аналого-цифровой преобразователь и устройство сбора и обработки данных.

Для каждого измерительного канала и выбранной частотной коррекции определяют и при необходимости регулируют коэффициент преобразования измерительной системы на частоте и амплитуде опорного сигнала.

В целях проверки линейности на частоте опорного сигнала в пределах одного диапазона измерений применяют возбуждение с амплитудами (среднеквадратичными значениями) согласно 13.10. Регистрируют показания a_n. Отклонение от линейности ε, %, которое определяют как разность между относительными погрешностями показания a_n и показания a_{ref}, полученного в ответ на возбуждение с амплитудой опорного сигнала, должно быть в пределах допуска по 5.7. Максимальная расширенная неопределенность измерения — 4 %.

В целях определения отклонения частотной характеристики применяют возбуждение приблизительно одинакового уровня на частотах, как указано в 13.10. Для каждого входного возбуждения регистрируют показание a_n. Отклонение от номинальной функции частотной коррекции (см. приложение В) должно быть в пределах допусков, указанных в таблице 5. Максимальная расширенная неопределенность измерения — 4 %.

13.12 Собственный шум измерительной цепи

Собственный шум измерительной цепи определяют усреднением результатов десяти измерений вибрации с использованием преобразователя вибрации, установленного на невибрирующем объекте. В процессе испытаний проводят измерения как среднеквадратичного значения корректированного ускорения, так и текущего среднеквадратичного значения корректированного ускорения.

При измерении среднеквадратичного значения ускорения период интегрирования выбирают равным 1 мин в режиме измерения локальной вибрации, 5 мин в режиме измерения общей вибрации и 30 мин в режиме измерения общей низкочастотной вибрации.

13.13 Взаимное влияние измерительных каналов

Для измерительной системы, имеющей два измерительных канала и более (например, предназначенной для измерений трехкомпонентной вибрации), проводят испытания по определению помех, создаваемых каналами друг другу.

Все каналы должны быть настроены на измерения в опорном диапазоне. На электрический вход каждого канала по очереди подают сигнал на частоте опорного сигнала, при этом входы всех остальных каналов должны быть нагружены соответствующими электрическими эквивалентами преобразователя. Амплитуда тестового сигнала должна быть в пределах 5 дБ верхней границы диапазона измерений. В процессе испытания регистрируют показания для каждого из каналов.

Для каждого из каналов должны быть выполнены требования 5.16.

13.14 Индикация перегрузки

Индикацию перегрузки проверяют, подавая на электрический вход сигналы в виде положительных и отрицательных полусинусоид на частоте опорного сигнала, а также на частотах, указанных в таблице 14. Измерительную систему устанавливают в режим измерения полосового сигнала в опорном диапазоне частот. Подавая на вход сигнал в форме положительной полусинусоиды, повышают его уровень до тех пор, пока не появится индикация перегрузки. Затем ту же процедуру повторяют для сигнала в форме отрицательной полусинусоиды. В обоих случаях регистрируют значение сигнала, при котором наступает состояние перегрузки. Разность между этими значениями должна быть в пределах допуска, установленного в 5.10. Максимальная расширенная неопределенность измерения — 2 %.

Примечание — Кроме испытаний на частотах, установленных в настоящем разделе, индикация перегрузки может быть проверена на других частотах по выбору испытательной лаборатории.

Индикатор перегрузки должен работать при всех значениях входного сигнала в диапазоне от наименьшего уровня, вызывающего перегрузку, до максимального уровня, определенного в технической документации.

При измерениях параметров вибрации, требующих усреднения на заданном интервале времени, или пиковых значений индикатор перегрузки должен начать индикацию по достижении состояния перегрузки и удерживать ее, как указано в 5.10. Если средство измерений используют для измерений текущих значений параметра вибрации, то индикатор перегрузки должен работать так, как указано в 5.10.

13.15 Устройства измерения времени

Необходимо подтвердить, что минимальный период интегрирования при усреднении сигнала вибрации по времени не превосходит значения, заявленного в технической документации, а максимальный период интегрирования при усреднении по времени не меньше соответствующего заявленного значения.

Устанавливают время измерения вибрации, равное 2000 с. Фактическая продолжительность измерения не должна отличаться от установленного значения более чем на ±2 с (±0,1 %). Максимальная расширенная неопределенность измерения — 0,01 %.

13.16 Протокол испытаний

В протоколе испытаний должны быть подробно отражены следующие сведения: конфигурации измерительной системы, условия испытаний, результаты испытаний. Протокол испытаний должен содержать заключение о том, удовлетворяет или не удовлетворяет испытуемый единичный образец требованиям настоящего стандарта в пределах установленного объема испытаний.

14 Периодические испытания

14.1 Общие положения

Соответствие требованиям настоящего стандарта считают подтвержденным, если отклонение результата измерений от нормативного значения с добавлением расширенной неопределенности, обеспечиваемой испытательной лабораторией, находится в пределах установленного допуска.

Неопределенность измерения определяют в соответствии с *ГОСТ 34100.3*. Расширенную неопределенность рассчитывают в испытательной лаборатории, используя для этого значение коэффициента $k = 2$.

Периодические испытания включают в себя калибровку средства измерений (обычно по заказу конечного пользователя) испытательной (калибровочной) лабораторией. Периодические испытания осуществляют на регулярной основе.

14.2 Требования испытаний

Все средства измерений, которые применяют в процессе периодических испытаний и которые могут вносить вклад в неопределенность измерения, должны обладать прослеживаемостью к эталонам в соответствии с национальной метрологической схемой.

Частота входных сигналов должна находиться в пределах ±0,2 % требуемого значения.

Значения параметров вибрации должны находиться в пределах ±3 % заданного значения.

Коэффициент гармоник для вибрации на входе не должен превышать 5 %.

Примечание 1 — Для электродинамических вибростендов коэффициент гармоник на частотах ниже 20 Гц обычно будет более 5 %.

Примечание 2 — Определение коэффициента гармоник — в соответствии с формулой (7).

В процессе испытаний параметры окружающей среды должны находиться в следующих пределах:

- температура окружающего воздуха — от 19 °С до 27 °С;
- относительная влажность воздуха — не более 90 % (без выпадения конденсата).

14.3 Объект испытаний

Объектом испытаний является виброметр с преобразователем вибрации, вместе составляющие единую измерительную цепь для определения и отображения параметров полосового сигнала и корректированного ускорения с использованием одной или нескольких частотных коррекций: W_b, W_c, W_d, W_f, W_h, W_j, W_k или W_m.

Примечание — В качестве преобразователя вибрации может быть использован трехкомпонентный или однокомпонентный акселерометр.

При отсутствии иных указаний все испытания, описанные в настоящем разделе, должны быть проведены для каждого канала многоканального виброметра.

Если технической документацией на элементы измерительной системы предписано использование батарей питания конкретной модели и типа, то испытания проводят с использованием таких батарей.

14.4 Представление виброметра на испытания

На испытания виброметр должен быть представлен вместе с преобразователем вибрации того типа, что рекомендован для применения с данным виброметром.

Допускается использовать виброметр с другими преобразователями вибрации при условии, что они обладают схожими характеристиками.

Виброметр может быть представлен на испытания вместе с вибрационным калибратором.

14.5 Предварительный осмотр

Виброметр, преобразователь вибрации и вибрационный калибратор (если он представлен на испытания) должны быть подвергнуты визуальному осмотру, включая осмотр:

- преобразователя вибрации, кабеля и корпуса виброметра с целью подтвердить, что ни один из этих элементов не имеет видимых признаков повреждений;
- соединений между преобразователем вибрации и кабелем, кабелем и виброметром, а также любых других доступных соединений средства измерений с целью подтвердить их надежность и защищенность.

Все элементы управления измерительной системой должны быть проверены, чтобы убедиться в их правильном функционировании.

14.6 Проверка маркировки и технической документации

Необходимо убедиться, что маркировка виброметра соответствует требованиям раздела 9.

Перед проведением испытаний необходимо убедиться, что техническая документация на виброметр содержит все сведения, требуемые по разделу 10, в соответствии с его назначением.

По завершении испытаний все положения технической документации должны быть заново пересмотрены, чтобы убедиться в их правильности и в том, что все заявленные параметры находятся в пределах допусков, установленных настоящим стандартом.

14.7 Объем испытаний

Проводимые испытания включают в себя определение только тех характеристик виброметра, которые соответствуют его назначению для следующих возможных применений:

a) измерений локальной вибрации;

b) измерений общей вибрации;

c) измерений общей низкочастотной вибрации.

Примечание — В настоящее время отсутствуют требования к проведению испытаний виброметров, предназначенных для измерений общей угловой вибрации.

Эти испытания включают в себя приложение механических (вибрационных) тестовых воздействий для проверки всей измерительной цепи, включая акселерометр и установленные фильтры частотной коррекции. При этом в любом случае целью является подтверждение требованиям настоящего стандарта в отношении конфигурации измерительной цепи, фактически применяемой пользователем.

При необходимости пользователь виброметра может провести испытания для конфигурации измерительной системы, отличающейся от используемой в обычных условиях применения. При этом в любом случае подтверждение требованиям настоящего стандарта осуществляется только в отношении заданной пользователем конфигурации измерительной цепи.

Процедура испытаний включает в себя калибровку измерительной цепи с применением вибрационного воздействия заданных амплитуды и частоты. Параметры таких испытаний указаны в 14.8. По итогам испытаний должны быть определены следующие характеристики:

- коэффициент преобразования измерительной цепи;
- отклонения от линейности по амплитуде для нескольких уровней входного воздействия;
- частотная характеристика в ограниченном числе точек (частот);
- собственный шум измерительной системы.

14.8 Параметры испытаний

14.8.1 Измерительная цепь для измерений локальной вибрации

Частотная коррекция:	W_h.
Частота опорного сигнала:	79,58 Гц.
Среднеквадратичное значение ускорения опорного сигнала:	10 м/с^2.
Среднеквадратичные значения ускорения вибрации, применяемые при проверке линейности измерительной системы:	5, 10 и 100 м/с^2 на частоте 79,58 Гц.
Диапазон частот, в котором проверяют отклонение частотной характеристики измерительной системы:	От 10 до 800 Гц при среднеквадратичном значении ускорения 10 м/с^2.
Значения частот, на которых измеряют отклонение частотной характеристики измерительной системы:	10; 15,85; 79,43; 158,5; 794,3 Гц.

При испытаниях следует убедиться в том, что входной сигнал превышает фоновый шум не менее чем на 20 дБ. При необходимости можно повысить уровень возбуждаемой вибростендом вибрации. Следует следить за тем, чтобы искажения формы возбуждаемой вибрации были минимальны, а перемещения стола калибратора не выходили за установленные для него границы.

14.8.2 Измерительная цепь для измерений общей вибрации

Частотные коррекции:	W_b, W_c, W_d, W_j, W_k, W_m.
Частота опорного сигнала:	15,915 Гц.
Среднеквадратичное значение ускорения опорного сигнала:	1,00 м/с^2.
Среднеквадратичные значения ускорения вибрации, применяемые при проверке линейности измерительной системы:	0,1; 1,00 и 10 м/с^2 на частоте 15,915 Гц.
Диапазон частот, в котором проверяют отклонение частотной характеристики измерительной системы:	От 2 до 63 Гц при среднеквадратичном значении ускорения 1,00 м/с^2.
Значения частот, на которых измеряют отклонение частотной характеристики измерительной системы:	1,995; 7,943; 15,85; 63,10 Гц.

При испытаниях следует убедиться в том, что входной сигнал превышает фоновый шум не менее чем на 20 дБ. При необходимости можно повысить уровень возбуждаемой вибростендом вибрации. Следует следить за тем, чтобы искажения формы возбуждаемой вибрации были минимальны, а перемещения стола калибратора не выходили за установленные для него границы.

Примечание — Частоты, на которых проверяют отклонение от номинальной характеристики, лежат в диапазоне, где допуск составляет ±1 дБ (см. приложение В). Для тех функций частотной коррекции, где допуск ±1 дБ распространяется на частоты ниже 2 Гц, желательно расширить диапазон испытаний в область низких частот, охватив при этом частоты, где допуск составляет ±1 дБ.

14.8.3 Измерительная цепь для измерений общей низкочастотной вибрации

Частотная коррекция:	W_f.
Частота опорного сигнала:	0,3979 Гц.
Среднеквадратичное значение ускорения опорного сигнала:	0,1 м/с^2.
Среднеквадратичные значения ускорения вибрации, применяемые при проверке линейности измерительной системы:	0,01; 0,1 и 1 м/с^2 на частоте 0,3979 Гц.
Диапазон частот, в котором проверяют отклонение частотной характеристики измерительной системы:	От 0,2 до 0,4 Гц при среднеквадратичном значении ускорения 0,1 м/с^2.
Значения частот, на которых измеряют отклонение частотной характеристики измерительной системы:	(0,1995; 0, 2512; 0,3979) Гц.

При испытаниях следует убедиться в том, что входной сигнал превышает фоновый шум не менее чем на 20 дБ. При необходимости можно повысить уровень возбуждаемой вибростендом вибрации. Следует следить за тем, чтобы искажения формы возбуждаемой вибрации были минимальны, а перемещения стола калибратора не выходили за установленные для него границы. Некоторые сочетания уровня и частоты возбуждения могут превышать возможности калибратора, о чем необходимо указывать в протоколе испытаний.

14.9 Проведение испытаний

Перед проведением любых испытаний виброметр должен быть обеспечен напряжением питания в пределах, указанных изготовителем.

Полный набор испытаний с воспроизведением механических воздействий включает в себя:

- регулировку коэффициента преобразования измерительной цепи на частоте и амплитуде опорного сигнала;
- проверку линейности на частоте опорного сигнала;
- определение частотной характеристики измерительной цепи при постоянной амплитуде вибрации.

Преобразователь вибрации должен быть закреплен на установочной поверхности вибростенда способом, позволяющим максимально точно воспринимать вибрационное воздействие. Особое внимание следует уделить тому, чтобы устройство крепления преобразователя не приводило к искажению отклика на высоких частотах.

При испытаниях рекомендуется использовать калибровку преобразователя вибрации методом сравнения согласно *ГОСТ ISO 16063-21*. Оборудование, используемое для калибровки, должно позволять воспроизводить вибрацию заданного постоянного уровня в течение всего времени измерений.

Испытания проводят для всей измерительной цепи.

Для каждого измерительного канала и выбранной частотной коррекции определяют и при необходимости регулируют коэффициент преобразования измерительной цепи на частоте и амплитуде опорного сигнала.

В целях проверки линейности на частоте опорного сигнала в пределах одного диапазона измерений применяют возбуждение с амплитудами (среднеквадратичными значениями) согласно 14.8. Для каждого уровня входного возбуждения регистрируют показание a_n. Отклонение от линейности ε, %, которое определяют как разность между относительными погрешностями показания a_n и показания a_{ref}, полученного в ответ на возбуждение с амплитудой опорного сигнала, должно быть в пределах допуска по 5.7. Максимальная расширенная неопределенность измерения — 5 %.

В целях определения отклонения частотной характеристики применяют возбуждение приблизительно одинакового уровня на частотах, как указано в 14.8. Для каждого входного возбуждения регистрируют показание a_n. Отклонение от номинальной функции частотной коррекции (см. приложение В) должно быть в пределах допусков, указанных в таблице 5. Максимальная расширенная неопределенность измерения — 5 %.

14.10 Протокол испытаний

В протоколе испытаний должны быть подробно отражены следующие сведения: конфигурации средства измерений, условия испытаний, результаты испытаний. Протокол испытаний должен содержать заключение о том, удовлетворяет или не удовлетворяет испытуемое средство измерений требованиям настоящего стандарта в пределах установленного объема испытаний.

15 Проверка на месте применения

15.1 Общие положения

Проверка на месте применения предназначена для оценки работоспособности средства измерений до и после проведения серии измерений. В этом случае проверяют только основную калибровку средства измерений и его функциональные возможности.

Техническая документация должна содержать инструкцию по проведению проверки на месте применения.

15.2 Предварительный осмотр

В технической документации должен быть определен порядок визуальной проверки целости средства измерений. Эта проверка включает в себя осмотр:

- акселерометра, кабеля и корпуса виброметра с целью подтвердить, что ни один из этих элементов не имеет видимых признаков повреждений;
- соединений между акселерометром и кабелем, кабелем и виброметром, а также любых других доступных соединений средства измерений с целью подтвердить их надежность и защищенность.

15.3 Коэффициент преобразования

В технической документации должен быть описан способ контроля коэффициента преобразования средства измерений на месте его применения. Способ контроля должен включать в себя:

- метод проверки коэффициента преобразования измерительной цепи средства измерений в опорном диапазоне измерений с использованием вибрационного воздействия с амплитудой опорного сигнала вибрации, создаваемой калибратором на частоте проверки калибровки.

Проверку на частоте 159,15 Гц выполняют только в случае виброметра, предназначенного для измерений локальной вибрации. Ожидаемое при этом среднеквадратичное значение корректированного ускорения — в соответствии с таблицей В.6.

Примечание — Если опыт применения виброметра показывает, что изменение коэффициента преобразования преобразователя вибрации и всего средства измерений в целом маловероятно, то количественное значение коэффициента преобразования допускается не определять. При этом, однако, необходимо убедиться в отсутствии разрывов измерительной цепи, например, постукивая по измерительной поверхности преобразователя и наблюдая за откликом показывающего устройства;

- способ индикации достижения предельных регулировок коэффициента преобразования, которые могут быть использованы при нормальном применении прибора (т. е. границ регулировки, при выходе за пределы которых должна появляться индикация о возможном неправильном функционировании средства измерений);
- способ записи результатов проверки калибровки на месте применения средства измерений (включая дату и время проведения проверки, настройку средства измерений и калибратора, начальное значение коэффициента преобразования и внесенную в него поправку).

Приложение А
(обязательное)

Требования к вибрационному калибратору

А.1 Общие положения

Калибратор служит для воспроизведения вибрации с заданными характеристиками. Эту вибрацию прикладывают к преобразователю вибрации для проверки коэффициента преобразования средства измерений на месте его применения.

Калибратор должен иметь гладкую поверхность (вибростол), на которой закрепляют преобразователь вибрации.

А.2 Технические требования

Калибратор должен удовлетворять следующим требованиям.

Направление вектора вибрации:	перпендикулярно поверхности вибростола.
Коэффициент поперечных составляющих:	менее 10 % в пределах заданного диапазона нагрузок.
Ориентация в пространстве:	произвольная.
Время выхода на режим:	менее 10 с (время между включением калибратора и моментом наступления состояния, когда его характеристики соответствуют указанным в технической документации изготовителя и требованиям настоящего стандарта).
Частота:	калибратор должен возбуждать вибрацию по крайней мере на одной из частот, указанных в таблице А.1. Допускается возможность дополнительных частот возбуждения.
Уровень вибрации:	среднеквадратичное значение ускорения воспроизводимой вибрации должно соответствовать значениям, приведенным в таблице А.1. Допускается возможность дополнительных уровней возбуждения.
Допустимая нагрузка:	определяется испытуемым преобразователем вибрации, включая при необходимости устройства крепления, но не менее 70 г (массы, необходимой для подтверждения характеристик калибратора с использованием эталонного преобразователя вибрации). Минимальная и максимальная нагрузки должны быть указаны в технической документации.
Коэффициент гармоник:	менее 5 % в пределах заданного диапазона нагрузок.
Плоскостность поверхности вибростола:	достаточная, чтобы коэффициент гармоник, обусловленный деформацией основания преобразователя вибрации, не выходил за пределы установленного допуска.
Монтажное отверстие (с резьбой):	(90 ± 1)° (относительно плоскости вибростола).
Магнитное поле рассеяния (переменное) в месте установки преобразователя вибрации:	менее 1 мТл.
Электромагнитная совместимость:	согласно испытанию уровня 2 по *ГОСТ 30804.4.3*.
Степень защиты от пыли и водяных брызг:	в зависимости от применения; должна быть определена в технической документации.
Диапазон температур:	от 0 °С до 40 °С.
Относительная влажность воздуха:	от 10 % до 90 % без образования конденсата.

Таблица А.1 — Параметры, применяемые при испытании на устойчивость к радиочастотному электромагнитному полю и помехам сетевой частоты

Параметр	Тип вибрации			
	Локальная		Общая	Общая низкочастотная
Частота, рад/с (Гц)	500 (±0,5 %) (79,577)	1000 (±0,5 %) (159,155)	100 (±0,5 %) (15,915)	2,5 (±0,5 %)[a] (0,3979)
Среднеквадратичное значение ускорения, м/с^2	10 (±3 %)	10 (±3 %)	1 (±3 %)	0,1 (±5 %)

[a] Современные калибраторы, используемые для проверки калибровки виброметра на месте его применения, не обладают возможностями воспроизведения вибрации на столь низких частотах. Кроме того, в настоящее время отсутствуют стандарты, устанавливающие методы калибровки преобразователей вибрации на таких частотах. Тем не менее, чтобы обеспечить надежное измерение общей низкочастотной вибрации желательно выполнять проверку калибровки на частотах в пределах диапазона частот измерений. Возможными вариантами является проверка калибровки на нулевой частоте (например, если ось чувствительности преобразователя направлена вертикально вверх, то, переворачивая его, получаем изменение ускорения на $2g_n$) или на частотах, существенно выше диапазона частот измерений. Ни один из этих способов, однако, нельзя признать вполне удовлетворительным.

В технических данных калибратора (указанных, например, в сертификате калибровки или в технической документации) должны быть определены ожидаемые среднеквадратичные значения корректированного ускорения для всех возможных режимов работы виброметра и для всех возможных сочетаний частот и амплитуд возбуждаемой калибратором вибрации.

А.3 Испытания в целях утверждения типа и поверка калибратора

Испытания в целях утверждения типа и периодические испытания калибраторов проводят методом сравнения по *ГОСТ ISO 16063-21* (который распространяется также на портативные вибрационные калибраторы) с использованием эталонного преобразователя вибрации.

В процессе испытаний эталонный преобразователь вибрации устанавливают на вибростол калибратора, после чего с его помощью измеряют среднеквадратичное значение и частоту воспроизводимого калибратором ускорения. Целью испытаний является проверка, соответствуют ли параметры воспроизводимой вибрации значениям, указанным в таблице А.1. Расширенная неопределенность измерений — по *ГОСТ ISO 16063-21—2013* (приложение А).

Приложение В
(справочное)

Частотная коррекция

Значения функций частотной коррекции и их допуски, приведенные в таблицах В.1—В.9 и на рисунках В.1—В.18, рассчитаны в соответствии с таблицами 3—5 и формулами (1)—(5).

В качестве основы для расчетов взяты истинные среднегеометрические частоты третьоктавных полос f_c, Гц, определяемые формулой

$$f_c(n) = 10^{n/10}, \quad (В.1)$$

где n — номер полосы частот в соответствии с [*6*].

Использованы значения среднегеометрических частот третьоктавных фильтров, определенные в [*6*] расчетом по основанию 10.

Для идентификации третьоктавных полос часто используют номинальные значения среднегеометрических частот, которые, однако, не следует использовать при вычислении значения функции частотной коррекции, на которую умножают результат измерений в третьоктавной полосе частот.

Примечание 1 — В некоторых стандартах на методы измерений функция частотной коррекции табулирована для номинальных значений среднегеометрических частот третьоктавных полос. Это может привести к расхождению в значениях функции частотной коррекции с теми, что рассчитаны на основе истинных значений.

Табулированные в настоящем приложении функции частотной коррекции [см. формулу (5)] включают в себя полосовую фильтрацию. Приведенные границы допусков справедливы как для частотных характеристик полосовых фильтров, так и для функции частотной коррекции в целом.

Примечание 2 — В настоящем приложении значения функции частотной коррекции, ее фазы и истинные среднегеометрические частоты третьоктавных полос представлены с точностью до четырех значащих цифр для абсолютных значений и с точностью до двух цифр после запятой для относительных значений, дБ. Это не следует трактовать как точность, требуемую от средства измерений.

Примечание 3 — Вследствие разницы в определениях, среднегеометрические частоты в соответствующих третьоктавных полосах, как они указаны в таблицах В.1—В.9 для представления функций частотной коррекции, несколько отличаются от частот опорных сигналов, приведенных в таблице 1.

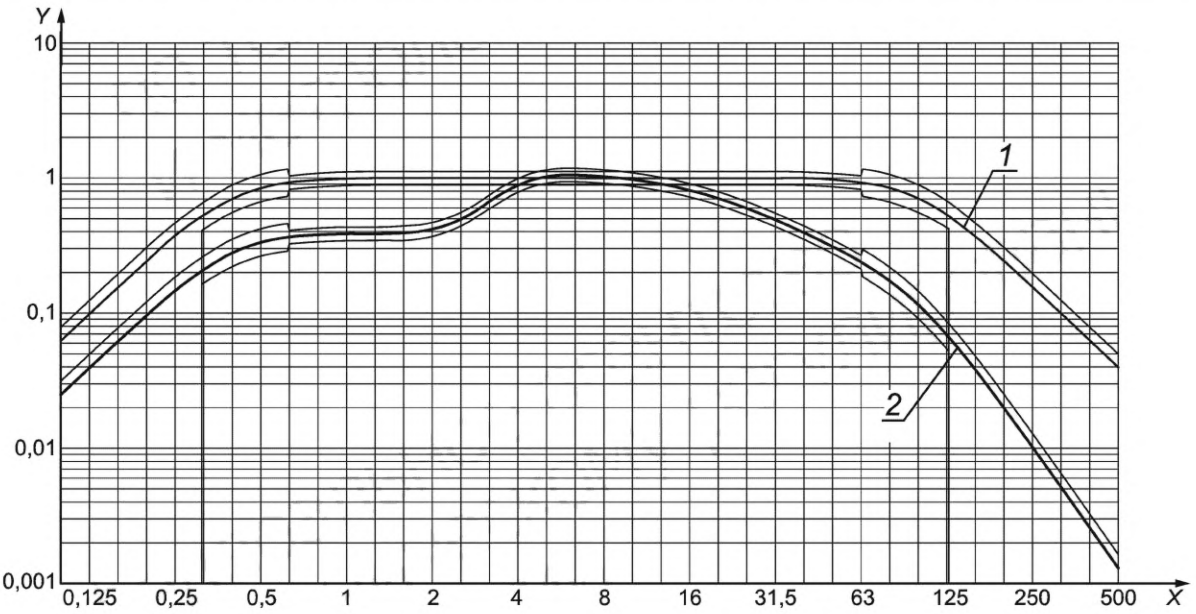
Примечание 4 — Для тех среднегеометрических частот, которым в графическом представлении соответствует ступенчатое изменение поля допуска, применяют те значения допуска, что указаны в соответствующей таблице.

Таблица В.1 — Функция частотной коррекции W_b для общей вибрации в вертикальном направлении (ось z), воздействующей на человека в положении сидя, стоя или лежа (на основе *ГОСТ 31191.4*)

n	Среднегеометрическая частота, Гц		Характеристика полосового фильтра			Функция частотной коррекции W_b			Допуск		
	Номинальная	Истинная	Модуль	дБ	Фаза, град	Модуль	дБ	Фаза, град	Модуль, %	дБ	$\Delta\varphi_0$, град
−10	0,1	0,1000	0,06238	−24,10	159,3	0,02494	−32,06	160,0	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
−9	0,125	0,1259	0,09857	−20,12	153,6	0,03941	−28,09	154,5	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
−8	0,16	0,1585	0,1551	−16,19	146,3	0,06198	−24,15	147,4	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
−7	0,2	0,1995	0,2415	−12,34	136,6	0,09645	−20,31	138,1	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
−6	0,25	0,2512	0,3669	−8,71	124,1	0,1464	−16,69	126,0	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
−5	0,315	0,3162	0,5300	−5,51	108,3	0,2113	−13,50	110,7	+26/−21	+2/−2	+12/−12
−4	0,4	0,3981	0,7037	−3,05	90,06	0,2800	−11,06	93,14	+26/−21	+2/−2	+12/−12
−3	0,5	0,5012	0,8434	−1,48	71,76	0,3347	−9,51	75,73	+26/−21	+2/−2	+12/−12
−2	0,63	0,6310	0,9279	−0,65	55,78	0,3666	−8,72	60,94	+12/−11	+1/−1	+6/−6
−1	0,8	0,7943	0,9693	−0,27	43,01	0,3808	−8,39	49,84	+12/−11	+1/−1	+6/−6
0	1	1,000	0,9874	−0,11	33,15	0,3853	−8,29	42,42	+12/−11	+1/−1	+6/−6
1	1,25	1,259	0,9949	−0,04	25,54	0,3864	−8,26	38,51	+12/−11	+1/−1	+6/−6
2	1,6	1,585	0,9980	−0,02	19,58	0,3916	−8,14	38,27	+12/−11	+1/−1	+6/−6
3	2	1,995	0,9992	−0,01	14,84	0,4168	−7,60	41,76	+12/−11	+1/−1	+6/−6

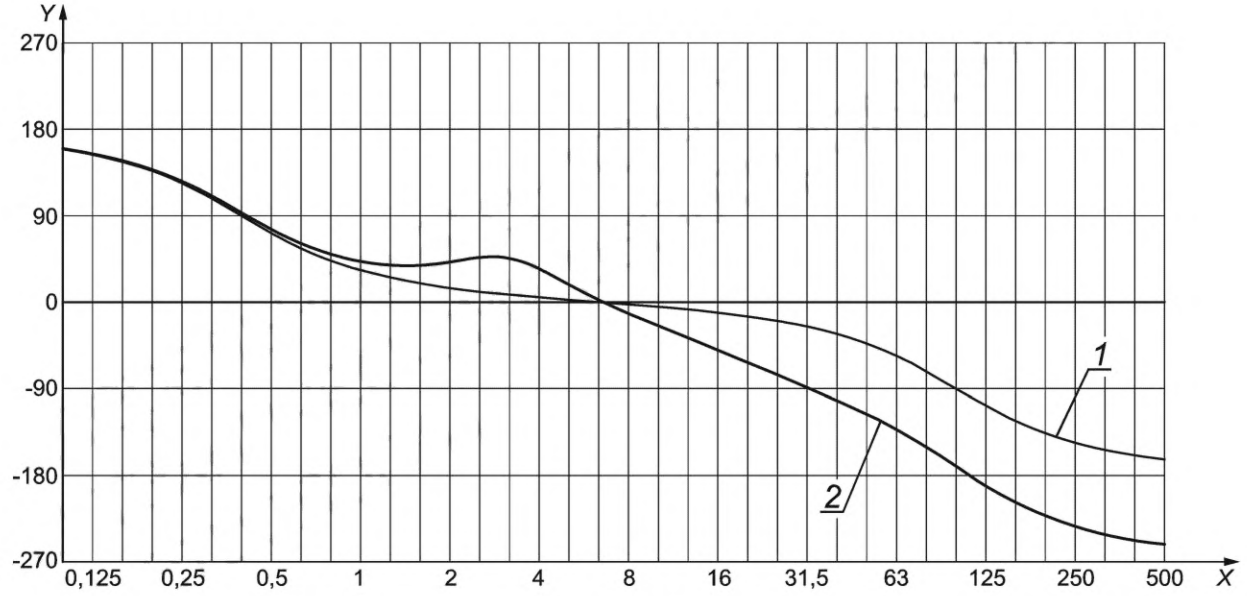
Окончание таблицы В.1

n	Среднегеометрическая частота, Гц		Характеристика полосового фильтра			Функция частотной коррекции W_b			Допуск		
	Номинальная	Истинная	Модуль	дБ	Фаза, град	Модуль	дБ	Фаза, град	Модуль, %	дБ	$\Delta\varphi_0$, град
4	2,5	2,512	0,9997	0,00	10,97	0,4960	−6,09	46,57	+12/−11	+1/−1	+6/−6
5	3,15	3,162	0,9999	0,00	7,740	0,6653	−3,54	45,79	+12/−11	+1/−1	+6/−6
6	4	3,981	0,9999	0,00	4,941	0,8850	−1,06	34,64	+12/−11	+1/−1	+6/−6
7	5	5,012	1,0000	0,00	2,416	1,026	0,22	17,75	+12/−11	+1/−1	+6/−6
8	6,3	6,310	1,0000	0,00	0,0244	1,054	0,46	1,770	+12/−11	+1/−1	+6/−6
9	8	7,943	1,0000	0,00	−2,366	1,026	0,23	−11,94	+12/−11	+1/−1	+6/−6
10	10	10,00	0,9999	0,00	−4,887	0,9745	−0,22	−24,56	+12/−11	+1/−1	+6/−6
11	12,5	12,59	0,9999	0,00	−7,679	0,9042	−0,87	−37,10	+12/−11	+1/−1	+6/−6
12	16	15,85	0,9997	0,00	−10,90	0,8144	−1,78	−49,93	+12/−11	+1/−1	+6/−6
13	20	19,95	0,9992	−0,01	−14,75	0,7088	−2,99	−62,89	+12/−11	+1/−1	+6/−6
14	25	25,12	0,9980	−0,02	−19,47	0,5973	−4,48	−75,75	+12/−11	+1/−1	+6/−6
15	31,5	31,62	0,9950	−0,04	−25,40	0,4906	−6,18	−88,55	+12/−11	+1/−1	+6/−6
16	40	39,81	0,9877	−0,11	−32,97	0,3950	−8,07	−101,7	+12/−11	+1/−1	+6/−6
17	50	50,12	0,9699	−0,27	−42,78	0,3118	−10,12	−116,0	+12/−11	+1/−1	+6/−6
18	63	63,10	0,9291	−0,64	−55,49	0,2389	−12,44	−132,2	+12/−11	+1/−1	+6/−6
19	80	79,43	0,8457	−1,46	−71,41	0,1734	−15,22	−150,9	+26/−21	+2/−2	+12/−12
20	100	100,0	0,7071	−3,01	−89,68	0,1154	−18,75	−171,3	+26/−21	+2/−2	+12/−12
21	125	125,9	0,5336	−5,46	−107,9	0,06929	−23,19	−191,3	+26/−21	+2/−2	+12/−12
22	160	158,5	0,3699	−8,64	−123,8	0,03818	−28,36	−208,5	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
23	200	199,5	0,2436	−12,27	−136,4	0,01999	−33,98	−222,2	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
24	250	251,2	0,1565	−16,11	−146,1	0,01020	−39,82	−232,8	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
25	315	316,2	0,09950	−20,04	−153,5	0,005154	−45,76	−240,8	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
26	400	398,1	0,06297	−24,02	−159,2	0,002591	−51,73	−247,1	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞



X — частота, Гц; *Y* — модуль частотной характеристики; *1* — полосовой фильтр; *2* — функция частотной коррекции

Рисунок В.1 — Модуль функции частотной коррекции W_b по *ГОСТ 31191.4*



X — частота, Гц; *Y* — фаза частотной характеристики; *1* — полосовой фильтр; *2* — функция частотной коррекции

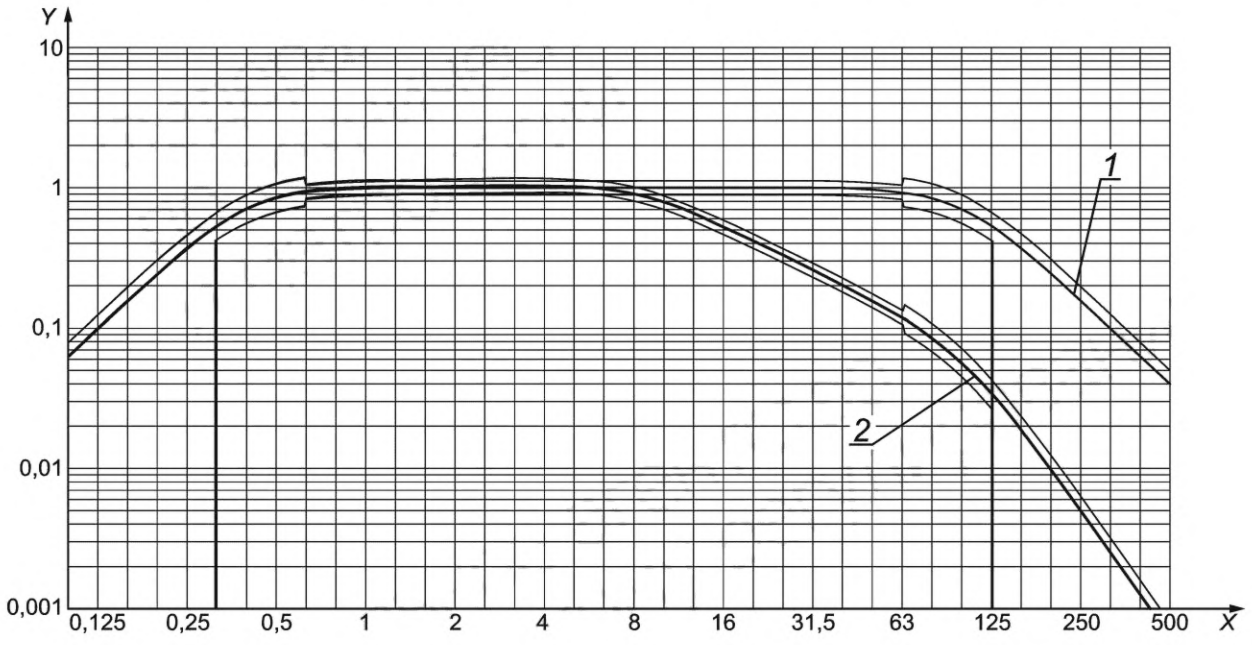
Рисунок В.2 — Фаза функции частотной коррекции W_b по *ГОСТ 31191.4*

Таблица В.2 — Функция частотной коррекции W_c для общей вибрации в горизонтальном направлении (ось *x*), воздействующей на человека в положении сидя, спинка сиденья (на основе *ГОСТ 31191.1*)

n	Среднегеометрическая частота, Гц		Характеристика полосового фильтра			Функция частотной коррекции W_c			Допуск		
	Номинальная	Истинная	Модуль	дБ	Фаза, град	Модуль	дБ	Фаза, град	Модуль, %	дБ	$\Delta\varphi_0$, град
−10	0,1	0,1000	0,06238	−24,10	159,3	0,06238	−24,10	158,8	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
−9	0,125	0,1259	0,09857	−20,12	153,6	0,09858	−20,12	153,1	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
−8	0,16	0,1585	0,1551	−16,19	146,3	0,1551	−16,19	145,6	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
−7	0,2	0,1995	0,2415	−12,34	136,6	0,2415	−12,34	135,8	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
−6	0,25	0,2512	0,3669	−8,71	124,1	0,3669	−8,71	123,0	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
−5	0,315	0,3162	0,5300	−5,51	108,3	0,5302	−5,51	107,0	+26/−21	+2/−2	+12/−12
−4	0,4	0,3981	0,7037	−3,05	90,06	0,7042	−3,05	88,38	+26/−21	+2/−2	+12/−12
−3	0,5	0,5012	0,8434	−1,48	71,76	0,8442	−1,47	69,65	+26/−21	+2/−2	+12/−12
−2	0,63	0,6310	0,9279	−0,65	55,78	0,9292	−0,64	53,11	+12/−11	+1/−1	+6/−6
−1	0,8	0,7943	0,9693	−0,27	43,01	0,9716	−0,25	39,64	+12/−11	+1/−1	+6/−6
0	1	1,000	0,9874	−0,11	33,15	0,9910	−0,08	28,88	+12/−11	+1/−1	+6/−6
1	1,25	1,259	0,9949	−0,04	25,54	1,000	0,00	20,11	+12/−11	+1/−1	+6/−6
2	1,6	1,585	0,9980	−0,02	19,58	1,006	0,06	12,66	+12/−11	+1/−1	+6/−6
3	2	1,995	0,9992	−0,01	14,84	1,012	0,10	5,957	+12/−11	+1/−1	+6/−6
4	2,5	2,512	0,9997	0,00	10,97	1,017	0,15	−0,5318	+12/−11	+1/−1	+6/−6
5	3,15	3,162	0,9999	0,00	7,740	1,023	0,19	−7,327	+12/−11	+1/−1	+6/−6
6	4	3,981	0,9999	0,00	4,941	1,024	0,21	−15,00	+12/−11	+1/−1	+6/−6
7	5	5,012	1,0000	0,00	2,416	1,013	0,11	−24,10	+12/−11	+1/−1	+6/−6
8	6,3	6,310	1,0000	0,00	0,0244	0,9739	−0,23	−34,91	+12/−11	+1/−1	+6/−6

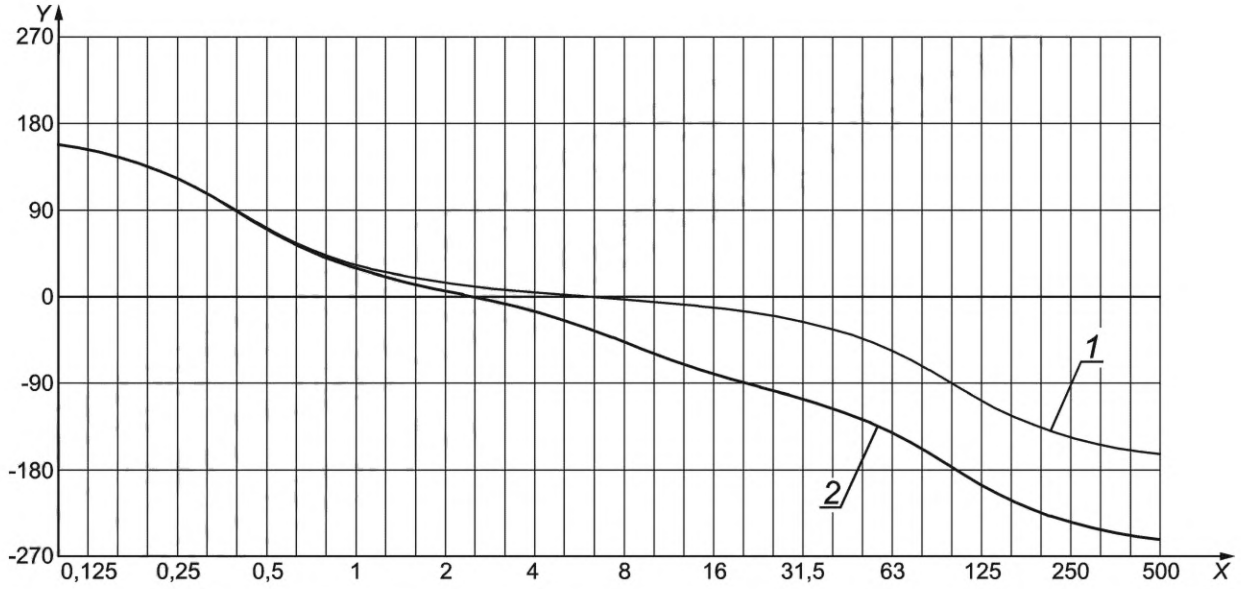
Окончание таблицы В.2

n	Среднегеометрическая частота, Гц		Характеристика полосового фильтра			Функция частотной коррекции W_c			Допуск		
	Номинальная	Истинная	Модуль	дБ	Фаза, град	Модуль	дБ	Фаза, град	Модуль, %	дБ	$\Delta\varphi_0$, град
9	8	7,943	1,0000	0,00	−2,366	0,8941	−0,97	−47,06	+12/−11	+1/−1	+6/−6
10	10	10,00	0,9999	0,00	−4,887	0,7762	−2,20	−59,37	+12/−11	+1/−1	+6/−6
11	12,5	12,59	0,9999	0,00	−7,679	0,6425	−3,84	−70,70	+12/−11	+1/−1	+6/−6
12	16	15,85	0,9997	0,00	−10,90	0,5166	−5,74	−80,61	+12/−11	+1/−1	+6/−6
13	20	19,95	0,9992	−0,01	−14,75	0,4098	−7,75	−89,43	+12/−11	+1/−1	+6/−6
14	25	25,12	0,9980	−0,02	−19,47	0,3236	−9,80	−97,78	+12/−11	+1/−1	+6/−6
15	31,5	31,62	0,9950	−0,04	−25,40	0,2549	−11,87	−106,4	+12/−11	+1/−1	+6/−6
16	40	39,81	0,9877	−0,11	−32,97	0,2002	−13,97	−115,9	+12/−11	+1/−1	+6/−6
17	50	50,12	0,9699	−0,27	−42,78	0,1557	−16,15	−127,3	+12/−11	+1/−1	+6/−6
18	63	63,10	0,9291	−0,64	−55,49	0,1182	−18,55	−141,2	+12/−11	+1/−1	+6/−6
19	80	79,43	0,8457	−1,46	−71,41	0,08538	−21,37	−158,0	+26/−21	+2/−2	+12/−12
20	100	100,0	0,7071	−3,01	−89,68	0,05665	−24,94	−177,0	+26/−21	+2/−2	+12/−12
21	125	125,9	0,5336	−5,46	−107,9	0,03394	−29,39	−195,8	+26/−21	+2/−2	+12/−12
22	160	158,5	0,3699	−8,64	−123,8	0,01868	−34,57	−212,1	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
23	200	199,5	0,2436	−12,27	−136,4	0,009772	−40,20	−225,1	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
24	250	251,2	0,1565	−16,11	−146,1	0,004987	−46,04	−235,0	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
25	315	316,2	0,09950	−20,04	−153,5	0,002518	−51,98	−242,6	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
26	400	398,1	0,06297	−24,02	−159,2	0,001266	−57,95	−248,5	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞



X — частота, Гц; *Y* — модуль частотной характеристики; *1* — полосовой фильтр; *2* — функция частотной коррекции

Рисунок В.3 — Модуль функции частотной коррекции W_c по *ГОСТ 31191.1*



X — частота, Гц; *Y* — фаза частотной характеристики; *1* — полосовой фильтр; *2* — функция частотной коррекции

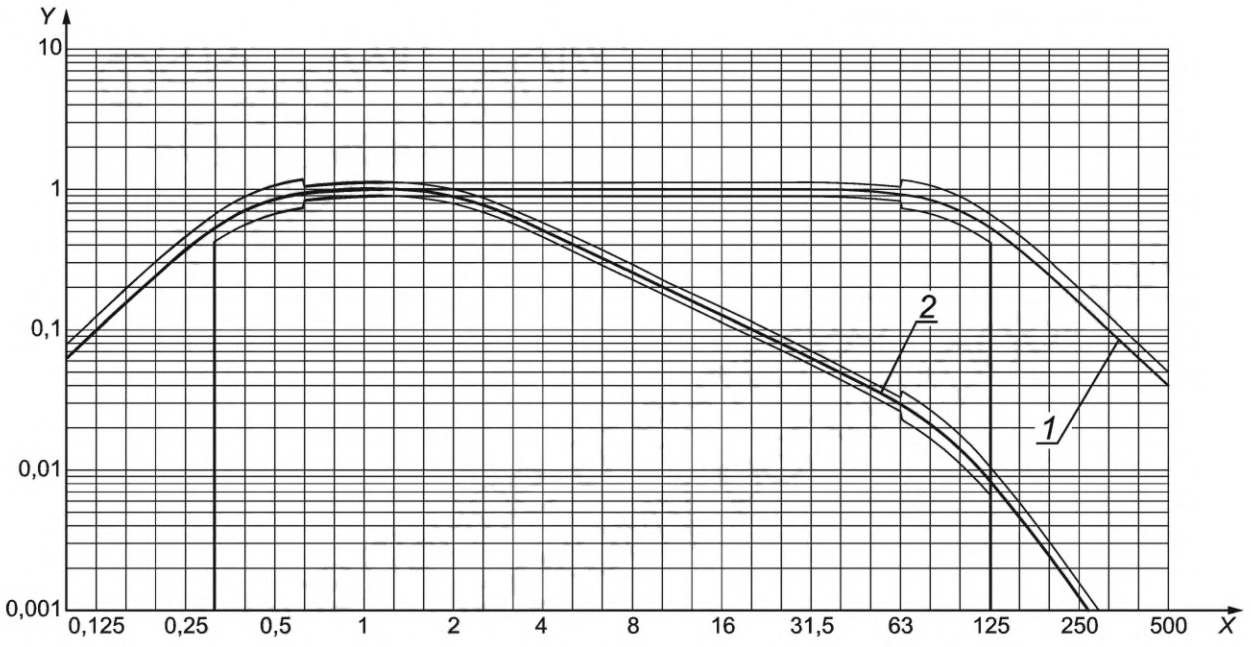
Рисунок В.4 — Фаза функции частотной коррекции W_c по *ГОСТ 31191.1*

Таблица В.3 — Функция частотной коррекции W_d для общей вибрации в горизонтальном направлении (ось *x* или *y*), воздействующей на человека в положении сидя, стоя или лежа (на основе *ГОСТ 31191.1*)

n	Среднегеометрическая частота, Гц		Характеристика полосового фильтра			Функция частотной коррекции W_d			Допуск		
	Номинальная	Истинная	Модуль	дБ	Фаза, град	Модуль	дБ	Фаза, град	Модуль, %	дБ	$\Delta\varphi_0$, град
−10	0,1	0,1000	0,06238	−24,10	159,3	0,06242	−24,09	157,6	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
−9	0,125	0,1259	0,09857	−20,12	153,6	0,09867	−20,12	151,5	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
−8	0,16	0,1585	0,1551	−16,19	146,3	0,1553	−16,18	143,6	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
−7	0,2	0,1995	0,2415	−12,34	136,6	0,2420	−12,32	133,2	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
−6	0,25	0,2512	0,3669	−8,71	124,1	0,3862	−8,68	119,8	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
−5	0,315	0,3162	0,5300	−5,51	108,3	0,5330	−5,47	102,8	+26/−21	+2/−2	+12/−12
−4	0,4	0,3981	0,7037	−3,05	90,06	0,7097	−2,98	83,11	+26/−21	+2/−2	+12/−12
−3	0,5	0,5012	0,8434	−1,48	71,76	0,8540	−1,37	62,84	+26/−21	+2/−2	+12/−12
−2	0,63	0,6310	0,9279	−0,65	55,78	0,9443	−0,50	44,21	+12/−11	+1/−1	+6/−6
−1	0,8	0,7943	0,9693	−0,27	43,01	0,9914	−0,08	27,86	+12/−11	+1/−1	+6/−6
0	1	1,000	0,9874	−0,11	33,15	1,011	0,10	13,09	+12/−11	+1/−1	+6/−6
1	1,25	1,259	0,9949	−0,04	25,54	1,007	0,06	−1,131	+12/−11	+1/−1	+6/−6
2	1,6	1,585	0,9980	−0,02	19,58	0,9707	−0,26	−15,55	+12/−11	+1/−1	+6/−6
3	2	1,995	0,9992	−0,01	14,84	0,8913	−1,00	−30,06	+12/−11	+1/−1	+6/−6
4	2,5	2,512	0,9997	0,00	10,97	0,7733	−2,23	−43,71	+12/−11	+1/−1	+6/−6
5	3,15	3,162	0,9999	0,00	7,740	0,6398	−3,88	−55,44	+12/−11	+1/−1	+6/−6
6	4	3,981	0,9999	0,00	4,941	0,5143	−5,78	−64,89	+12/−11	+1/−1	+6/−6
7	5	5,012	1,0000	0,00	2,416	0,4081	−7,78	−72,34	+12/−11	+1/−1	+6/−6

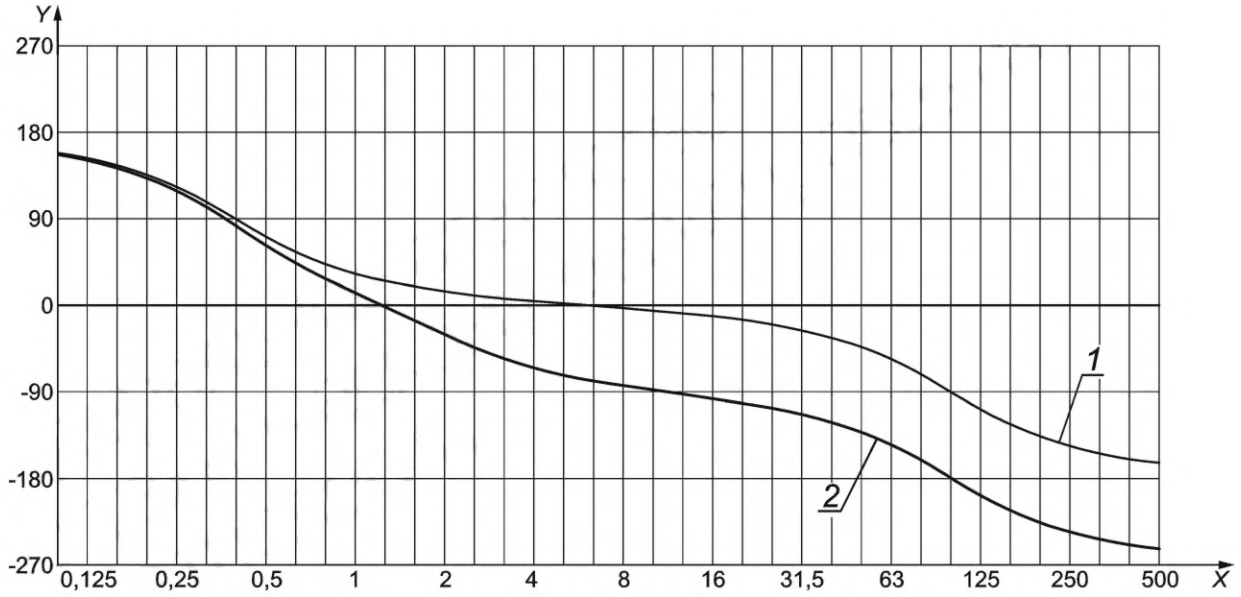
Окончание таблицы В.3

n	Среднегеометрическая частота, Гц		Характеристика полосового фильтра			Функция частотной коррекции W_d			Допуск		
	Номинальная	Истинная	Модуль	дБ	Фаза, град	Модуль	дБ	Фаза, град	Модуль, %	дБ	$\Delta\varphi_0$, град
8	6,3	6,310	1,0000	0,00	0,0244	0,3226	−9,83	−78,34	+12/−11	+1/−1	+6/−6
9	8	7,943	1,0000	0,00	−2,366	0,2550	−11,87	−83,39	+12/−11	+1/−1	+6/−6
10	10	10,00	0,9999	0,00	−4,887	0,2017	−13,91	−87,90	+12/−11	+1/−1	+6/−6
11	12,5	12,59	0,9999	0,00	−7,679	0,1597	−15,93	−92,20	+12/−11	+1/−1	+6/−6
12	16	15,85	0,9997	0,00	−10,90	0,1266	−17,95	−96,59	+12/−11	+1/−1	+6/−6
13	20	19,95	0,9992	−0,01	−14,75	0,1004	−19,97	−101,3	+12/−11	+1/−1	+6/−6
14	25	25,12	0,9980	−0,02	−19,47	0,07958	−21,98	−106,8	+12/−11	+1/−1	+6/−6
15	31,5	31,62	0,9950	−0,04	−25,40	0,06299	−24,01	−113,3	+12/−11	+1/−1	+6/−6
16	40	39,81	0,9877	−0,11	−32,97	0,04965	−26,08	−121,3	+12/−11	+1/−1	+6/−6
17	50	50,12	0,9699	−0,27	−42,78	0,03872	−28,24	−131,4	+12/−11	+1/−1	+6/−6
18	63	63,10	0,9291	−0,64	−55,49	0,02946	−30,62	−144,4	+12/−11	+1/−1	+6/−6
19	80	79,43	0,8457	−1,46	−71,41	0,02130	−33,43	−160,6	+26/−21	+2/−2	+12/−12
20	100	100,0	0,7071	−3,01	−89,68	0,01414	−36,99	−179,0	+26/−21	+2/−2	+12/−12
21	125	125,9	0,5336	−5,46	−107,9	0,008478	−41,43	−197,4	+26/−21	+2/−2	+12/−12
22	160	158,5	0,3699	−8,64	−123,8	0,004668	−46,62	−213,4	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
23	200	199,5	0,2436	−12,27	−136,4	0,002442	−52,24	−226,1	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
24	250	251,2	0,1565	−16,11	−146,1	0,001246	−58,09	−235,8	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
25	315	316,2	0,09950	−20,04	−153,5	0,000629	−64,02	−243,3	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
26	400	398,1	0,06297	−24,02	−159,2	0,000316	−70,00	−249,0	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞



X — частота, Гц; *Y* — модуль частотной характеристики; *1* — полосовой фильтр; *2* — функция частотной коррекции

Рисунок В.5 — Модуль функции частотной коррекции W_d по *ГОСТ 31191.1*



X — частота, Гц; *Y* — фаза частотной характеристики; *1* — полосовой фильтр; *2* — функция частотной коррекции

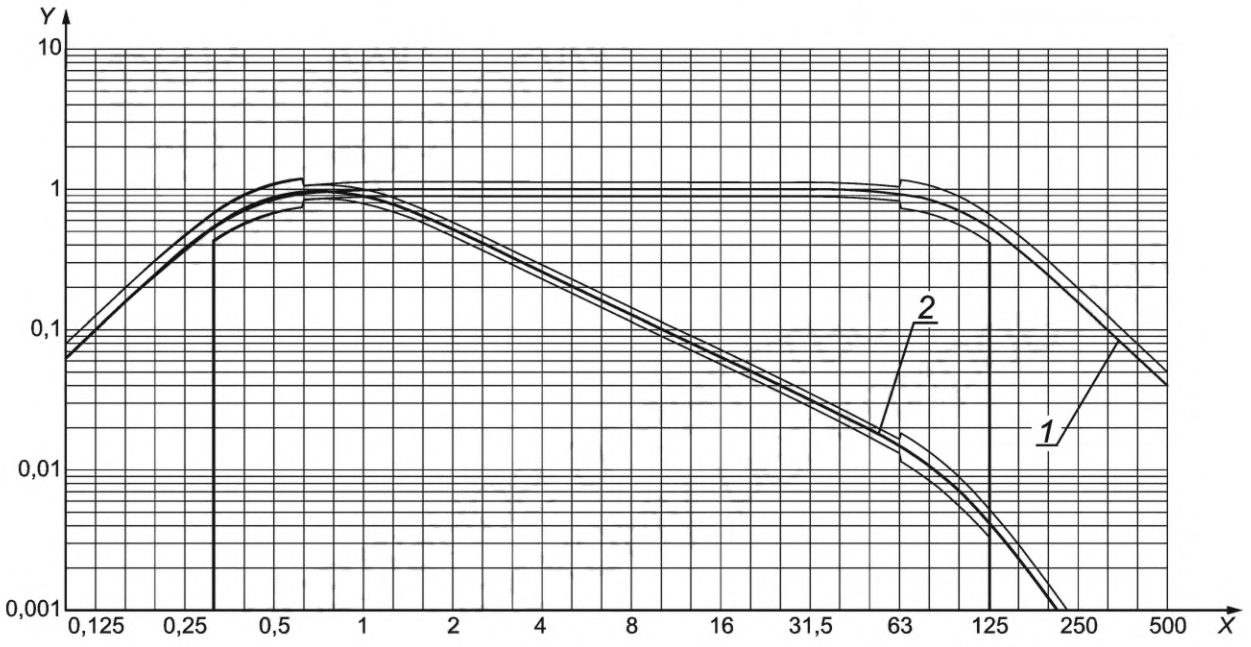
Рисунок В.6 — Фаза функции частотной коррекции W_d по *ГОСТ 31191.1*

Таблица В.4 — Функция частотной коррекции W_e для общей угловой вибрации во всех направлениях, воздействующей на человека в положении сидя (на основе *ГОСТ 31191.1*)

n	Среднегеометрическая частота, Гц		Характеристика полосового фильтра			Функция частотной коррекции W_e			Допуск		
	Номинальная	Истинная	Модуль	дБ	Фаза, град	Модуль	дБ	Фаза, град	Модуль, %	дБ	$\Delta\varphi_0$, град
−10	0,1	0,1000	0,06238	−24,10	159,3	0,06252	−24,08	155,9	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
−9	0,125	0,1259	0,09857	−20,12	153,6	0,09893	−20,09	149,3	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
−8	0,16	0,1585	0,1551	−16,19	146,3	0,1560	−16,14	140,8	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
−7	0,2	0,1995	0,2415	−12,34	136,6	0,2435	−12,27	129,7	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
−6	0,25	0,2512	0,3669	−8,71	124,1	0,3715	−8,60	115,1	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
−5	0,315	0,3162	0,5300	−5,51	108,3	0,5394	−5,36	96,68	+26/−21	+2/−2	+12/−12
−4	0,4	0,3981	0,7037	−3,05	90,06	0,7198	−2,86	74,87	+26/−21	+2/−2	+12/−12
−3	0,5	0,5012	0,8434	−1,48	71,76	0,8635	−1,27	51,65	+26/−21	+2/−2	+12/−12
−2	0,63	0,6310	0,9279	−0,65	55,78	0,9389	−0,55	29,04	+12/−11	+1/−1	+6/−6
−1	0,8	0,7943	0,9693	−0,27	43,01	0,9423	−0,52	7,786	+12/−11	+1/−1	+6/−6
0	1	1,000	0,9874	−0,11	33,15	0,8798	−1,11	−11,85	+12/−11	+1/−1	+6/−6
1	1,25	1,259	0,9949	−0,04	25,54	0,7683	−2,29	−29,24	+12/−11	+1/−1	+6/−6
2	1,6	1,585	0,9980	−0,02	19,58	0,6372	−3,91	−43,67	+12/−11	+1/−1	+6/−6
3	2	1,995	0,9992	−0,01	14,84	0,5127	−5,80	−55,05	+12/−11	+1/−1	+6/−6
4	2,5	2,512	0,9997	0,00	10,97	0,4070	−7,81	−63,83	+12/−11	+1/−1	+6/−6
5	3,15	3,162	0,9999	0,00	7,740	0,3218	−9,85	−70,66	+12/−11	+1/−1	+6/−6
6	4	3,981	0,9999	0,00	4,941	0,2543	−11,89	−76,11	+12/−11	+1/−1	+6/−6
7	5	5,012	1,0000	0,00	2,416	0,2012	−13,93	−80,61	+12/−11	+1/−1	+6/−6

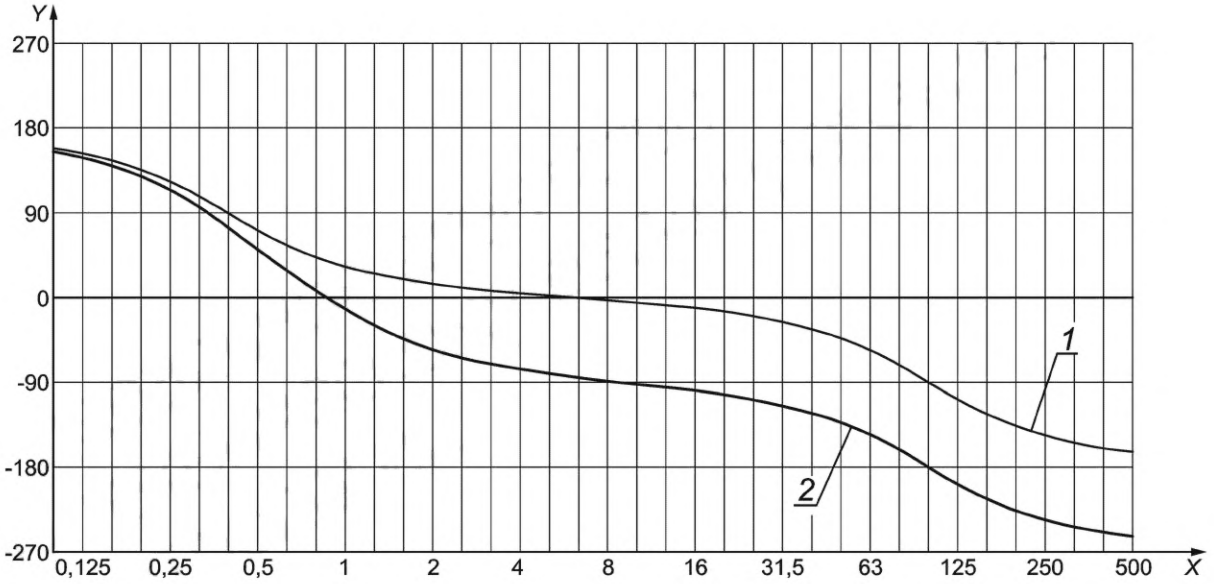
Окончание таблицы В.4

n	Среднегеометрическая частота, Гц		Характеристика полосового фильтра			Функция частотной коррекции W_e			Допуск		
	Номинальная	Истинная	Модуль	дБ	Фаза, град	Модуль	дБ	Фаза, град	Модуль, %	дБ	$\Delta\varphi_0$, град
8	6,3	6,310	1,0000	0,00	0,0244	0,1594	−15,95	−84,51	+12/−11	+1/−1	+6/−6
9	8	7,943	1,0000	0,00	−2,366	0,1263	−17,97	−88,06	+12/−11	+1/−1	+6/−6
10	10	10,00	0,9999	0,00	−4,887	0,1002	−19,98	−91,49	+12/−11	+1/−1	+6/−6
11	12,5	12,59	0,9999	0,00	−7,679	0,07954	−21,99	−94,99	+12/−11	+1/−1	+6/−6
12	16	15,85	0,9997	0,00	−10,90	0,06314	−23,99	−98,77	+12/−11	+1/−1	+6/−6
13	20	19,95	0,9992	−0,01	−14,75	0,05011	−26,00	−103,1	+12/−11	+1/−1	+6/−6
14	25	25,12	0,9980	−0,02	−19,47	0,03975	−28,01	−108,1	+12/−11	+1/−1	+6/−6
15	31,5	31,62	0,9950	−0,04	−25,40	0,03147	−30,04	−114,3	+12/−11	+1/−1	+6/−6
16	40	39,81	0,9877	−0,11	−32,97	0,02481	−32,11	−122,1	+12/−11	+1/−1	+6/−6
17	50	50,12	0,9699	−0,27	−42,78	0,01935	−34,26	−132,1	+12/−11	+1/−1	+6/−6
18	63	63,10	0,9291	−0,64	−55,49	0,01473	−36,64	−145,0	+12/−11	+1/−1	+6/−6
19	80	79,43	0,8457	−1,46	−71,41	0,01065	−39,46	−161,0	+26/−21	+2/−2	+12/−12
20	100	100,0	0,7071	−3,01	−89,68	0,007071	−43,01	−179,3	+26/−21	+2/−2	+12/−12
21	125	125,9	0,5336	−5,46	−107,9	0,004239	−47,46	−197,7	+26/−21	+2/−2	+12/−12
22	160	158,5	0,3699	−8,64	−123,8	0,002334	−52,64	−213,6	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
23	200	199,5	0,2436	−12,27	−136,4	0,001221	−58,27	−226,2	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
24	250	251,2	0,1565	−16,11	−146,1	0,0006232	−64,11	−236,0	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
25	315	316,2	0,09950	−20,04	−153,5	0,0003147	−70,04	−243,4	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
26	400	398,1	0,06297	−24,02	−159,2	0,0001528	−76,02	−249,1	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞



X — частота, Гц; *Y* — модуль частотной характеристики; *1* — полосовой фильтр; *2* — функция частотной коррекции

Рисунок В.7 — Модуль функции частотной коррекции W_e по *ГОСТ 31191.1*

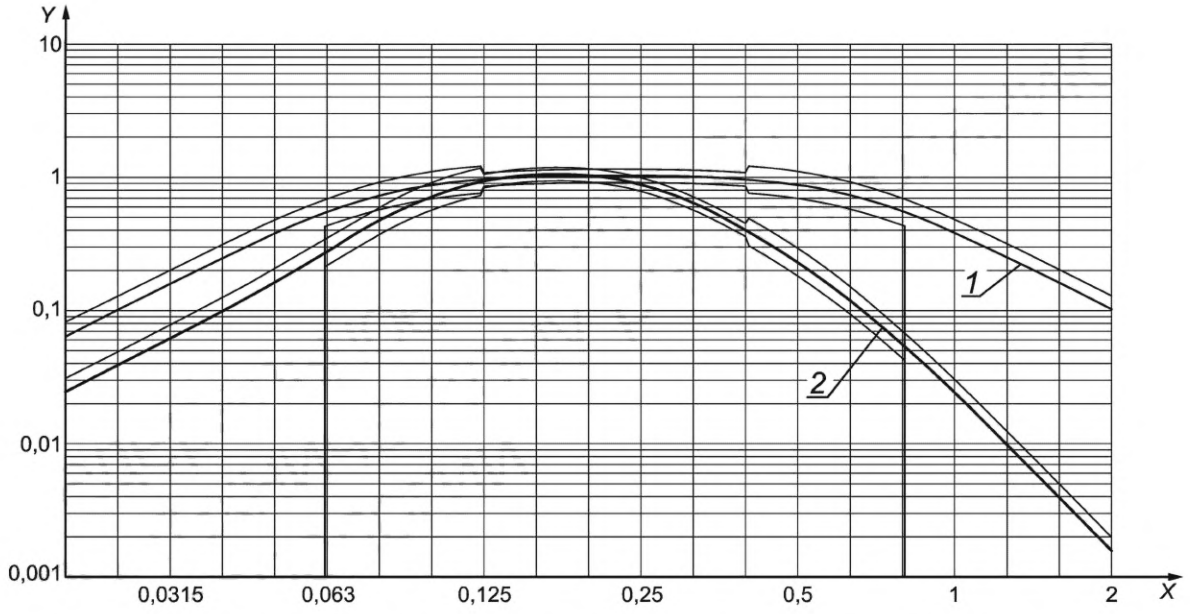


X — частота, Гц; *Y* — фаза частотной характеристики; *1* — полосовой фильтр; *2* — функция частотной коррекции

Рисунок В.8 — Фаза функции частотной коррекции W_e по *ГОСТ 31191.1*

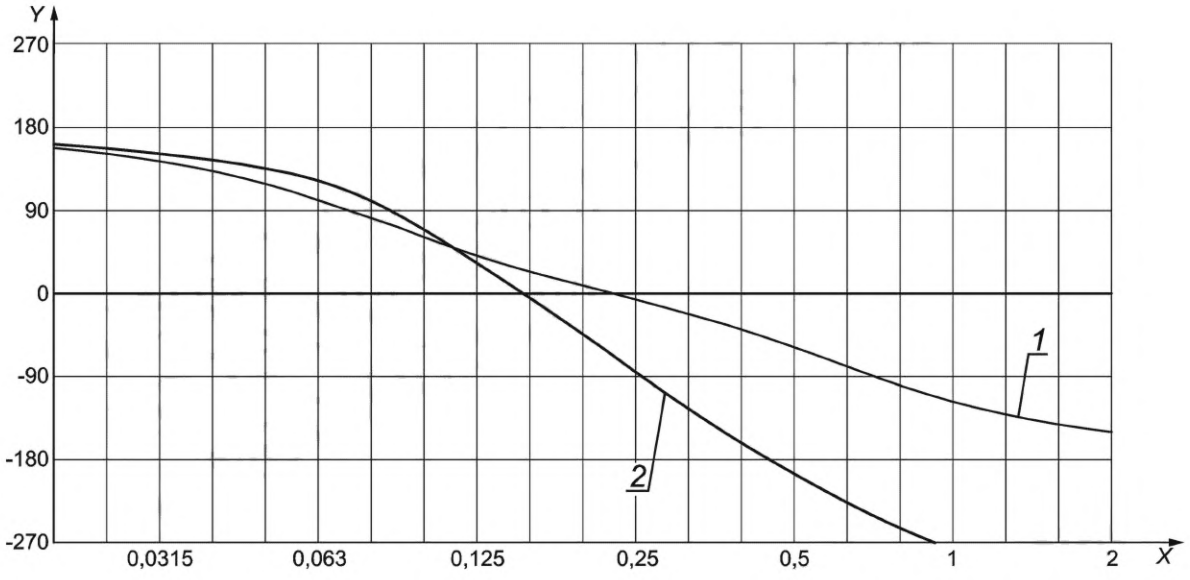
Таблица В.5 — Функция частотной коррекции W_f для общей низкочастотной вибрации в вертикальном направлении (ось *z*), воздействующей на человека в положении сидя или стоя (на основе *ГОСТ 31191.1*)

n	Среднегеометрическая частота, Гц		Характеристика полосового фильтра			Функция частотной коррекции W_f			Допуск		
	Номинальная	Истинная	Модуль	дБ	Фаза, град	Модуль	дБ	Фаза, град	Модуль, %	дБ	$\Delta\varphi_0$, град
−17	0,02	0,01995	0,06208	−24,14	156,8	0,02407	−32,37	160,9	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
−16	0,025	0,02512	0,09811	−20,17	150,5	0,03803	−28,40	156,2	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
−15	0,0315	0,03162	0,1544	−16,23	142,4	0,06021	−24,41	150,6	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
−14	0,04	0,03981	0,2404	−12,38	131,8	0,09619	−20,34	143,7	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
−13	0,05	0,05012	0,3653	−8,75	118,0	0,1575	−16,06	134,8	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
−12	0,063	0,06310	0,5282	−5,54	100,6	0,2675	−11,45	121,4	+26/−21	+2/−2	+12/−12
−11	0,08	0,07943	0,7020	−3,07	80,31	0,4537	−6,86	99,53	+26/−21	+2/−2	+12/−12
−10	0,1	0,1000	0,8420	−1,49	59,38	0,6951	−3,16	68,36	+26/−21	+2/−2	+12/−12
−9	0,125	0,1259	0,9265	−0,66	40,04	0,9000	−0,92	32,06	+12/−11	+1/−1	+6/−6
−8	0,16	0,1585	0,9671	−0,29	22,97	1,004	0,04	−5,596	+12/−11	+1/−1	+6/−6
−7	0,2	0,1995	0,9824	−0,15	7,579	0,9928	−0,06	−44,61	+12/−11	+1/−1	+6/−6
−6	0,25	0,2512	0,9826	−0,15	−7,217	0,8501	−1,41	−85,43	+12/−11	+1/−1	+6/−6
−5	0,315	0,3162	0,9677	−0,29	−22,58	0,6149	−4,22	−125,5	+12/−11	+1/−1	+6/−6
−4	0,4	0,3981	0,9279	−0,65	−39,60	0,3884	−8,22	−162,1	+12/−11	+1/−1	+6/−6
−3	0,5	0,5012	0,8447	−1,47	−58,89	0,2225	−13,05	−195,6	+26/−21	+2/−2	+12/−12
−2	0,63	0,6310	0,7059	−3,02	−79,79	0,1157	−18,73	−226,8	+26/−21	+2/−2	+12/−12
−1	0,8	0,7943	0,5324	−5,47	−100,1	0,05434	−25,30	−254,6	+26/−21	+2/−2	+12/−12
0	1	1	0,3689	−8,66	−117,6	0,02352	−32,57	−277,7	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
1	1,25	1,259	0,2429	−12,29	−131,5	0,00971	−40,26	−295,8	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
2	1,6	1,585	0,1561	−16,13	−142,2	0,00392	−48,14	−309,8	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
3	2	1,995	0,0992	−20,07	−150,4	0,00157	−56,11	−320,6	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞



X — частота, Гц; *Y* — модуль частотной характеристики; *1* — полосовой фильтр; *2* — функция частотной коррекции

Рисунок В.9 — Модуль функции частотной коррекции W_f по *ГОСТ 31191.1*



X — частота, Гц; *Y* — фаза частотной характеристики; *1* — полосовой фильтр; *2* — функция частотной коррекции

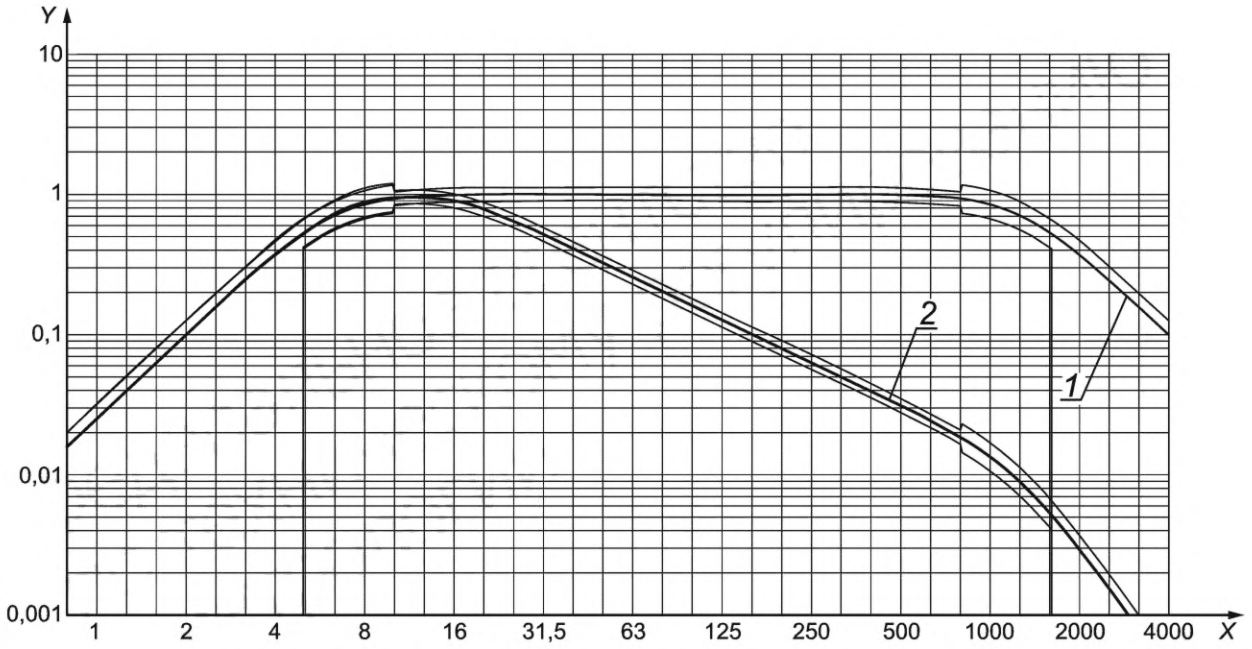
Рисунок В.10 — Фаза функции частотной коррекции W_f по *ГОСТ 31191.1*

Таблица В.6 — Функция частотной коррекции W_h для локальной вибрации во всех направлениях (на основе *ГОСТ 31192.1*)

n	Среднегеометрическая частота, Гц		Характеристика полосового фильтра			Функция частотной коррекции W_h			Допуск		
	Номинальная	Истинная	Модуль	дБ	Фаза, град	Модуль	дБ	Фаза, град	Модуль, %	дБ	$\Delta\varphi_0$, град
−1	0,8	0,7943	0,01585	−36,00	169,7	0,01586	−36,00	168,1	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
0	1	1,000	0,02511	−32,00	167,0	0,02514	−31,99	165,0	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
1	1,25	1,259	0,03978	−28,01	163,5	0,03985	−27,99	161,0	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞

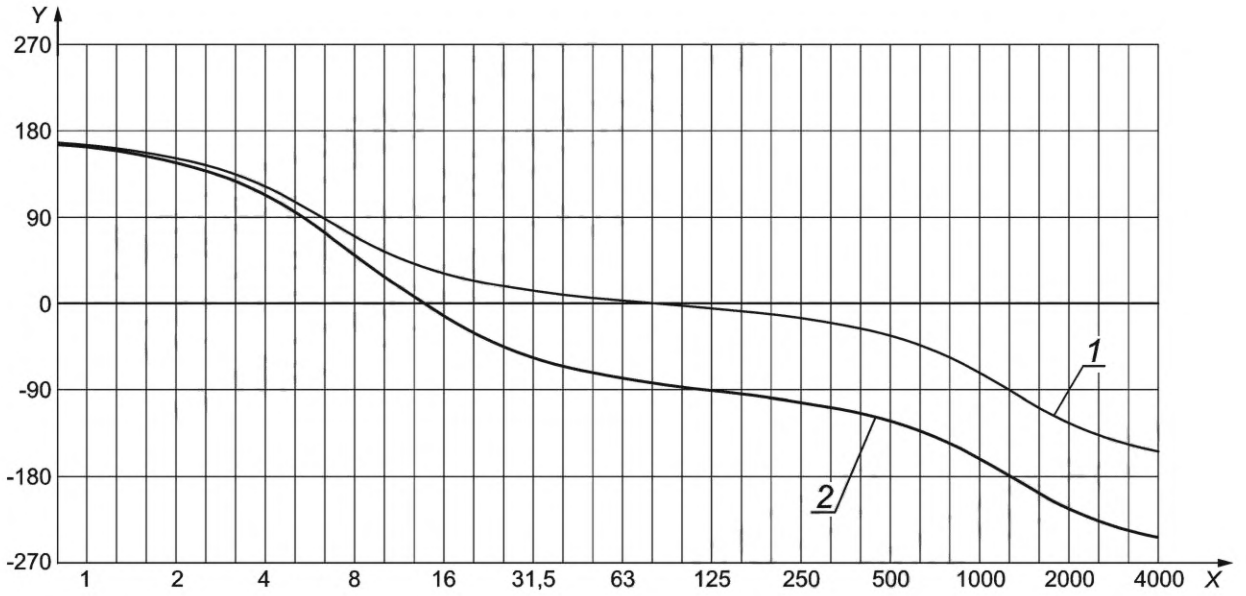
Окончание таблицы В.6

n	Среднегеометрическая частота, Гц		Характеристика полосового фильтра			Функция частотной коррекции W_h			Допуск		
	Номинальная	Истинная	Модуль	дБ	Фаза, град	Модуль	дБ	Фаза, град	Модуль, %	дБ	$\Delta\varphi_0$, град
2	1,6	1,585	0,06297	−24,02	159,1	0,06314	−23,99	155,9	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
3	2	1,995	0,09950	−20,04	153,4	0,09992	−20,01	149,3	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
4	2,5	2,512	0,1565	−16,11	146,1	0,1576	−16,05	140,8	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
5	3,15	3,162	0,2436	−12,27	136,4	0,2461	−12,18	129,7	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
6	4	3,981	0,3699	−8,64	123,7	0,3754	−8,51	115,2	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
7	5	5,012	0,5336	−5,46	107,9	0,5450	−5,27	96,70	+26/−21	+2/−2	+12/−12
8	6,3	6,310	0,7071	−3,01	89,59	0,7272	−2,77	74,91	+26/−21	+2/−2	+12/−12
9	8	7,943	0,8457	−1,46	71,30	0,8731	−1,18	51,74	+26/−21	+2/−2	+12/−12
10	10	10,00	0,9291	−0,64	55,36	0,9514	−0,43	29,15	+12/−11	+1/−1	+6/−6
11	12,5	12,59	0,9699	−0,27	42,62	0,9576	−0,38	7,810	+12/−11	+1/−1	+6/−6
12	16	15,85	0,9877	−0,11	32,76	0,8958	−0,96	−12,05	+12/−11	+1/−1	+6/−6
13	20	19,95	0,9950	−0,04	25,14	0,7820	−2,14	−29,71	+12/−11	+1/−1	+6/−6
14	25	25,12	0,9980	−0,02	19,15	0,6471	−3,78	−44,37	+12/−11	+1/−1	+6/−6
15	31,5	31,62	0,9992	−0,01	14,34	0,5192	−5,69	−55,89	+12/−11	+1/−1	+6/−6
16	40	39,81	0,9997	0,00	10,38	0,4111	−7,72	−64,78	+12/−11	+1/−1	+6/−6
17	50	50,12	0,9999	0,00	7,027	0,3244	−9,78	−71,70	+12/−11	+1/−1	+6/−6
18	63	63,10	0,9999	0,00	4,065	0,2560	−11,83	−77,27	+12/−11	+1/−1	+6/−6
19	80	79,43	1,000	0,00	1,330	0,2024	−13,88	−81,94	+12/−11	+1/−1	+6/−6
20	100	100,0	1,000	0,00	−1,330	0,1602	−15,91	−86,06	+12/−11	+1/−1	+6/−6
21	125	125,9	0,9999	0,00	−4,065	0,1270	−17,93	−88,92	+12/−11	+1/−1	+6/−6
22	160	158,5	0,9999	0,00	−7,027	0,1007	−19,94	−93,75	+12/−11	+1/−1	+6/−6
23	200	199,5	0,9997	0,00	−10,38	0,07988	−21,95	−97,80	+12/−11	+1/−1	+6/−6
24	250	251,2	0,9992	−0,01	−14,34	0,06338	−23,96	−102,3	+12/−11	+1/−1	+6/−6
25	315	316,2	0,9980	−0,02	−19,15	0,05026	−25,97	−107,5	+12/−11	+1/−1	+6/−6
26	400	398,1	0,9950	−0,04	−25,14	0,03980	−28,00	−113,8	+12/−11	+1/−1	+6/−6
27	500	501,2	0,9877	−0,11	−32,76	0,03137	−30,07	−121,7	+12/−11	+1/−1	+6/−6
28	630	631,0	0,9699	−0,27	−42,62	0,02447	−32,23	−131,8	+12/−11	+1/−1	+6/−6
29	800	794,3	0,9291	−0,64	−55,36	0,01862	−34,60	−144,7	+12/−11	+1/−1	+6/−6
30	1000	1000	0,8457	−1,46	−71,30	0,01346	−37,42	−160,8	+26/−21	+2/−2	+12/−12
31	1250	1259	0,7071	−3,01	−89,59	0,008940	−40,97	−179,2	+26/−21	+2/−2	+12/−12
32	1600	1585	0,5336	−5,46	−107,9	0,005359	−45,42	−197,5	+26/−21	+2/−2	+12/−12
33	2000	1995	0,3699	−8,64	−123,7	0,002950	−50,60	−213,5	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
34	2500	2512	0,2436	−12,27	−136,4	0,001544	−56,23	−226,2	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
35	3150	3162	0,1565	−16,11	−146,1	0,0007878	−62,07	−235,9	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
36	4000	3981	0,09950	−20,04	−153,4	0,0003978	−68,01	−243,3	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞



X — частота, Гц; *Y* — модуль частотной характеристики; *1* — полосовой фильтр; *2* — функция частотной коррекции

Рисунок В.11 — Модуль функции частотной коррекции W_h по *ГОСТ 31192.1*

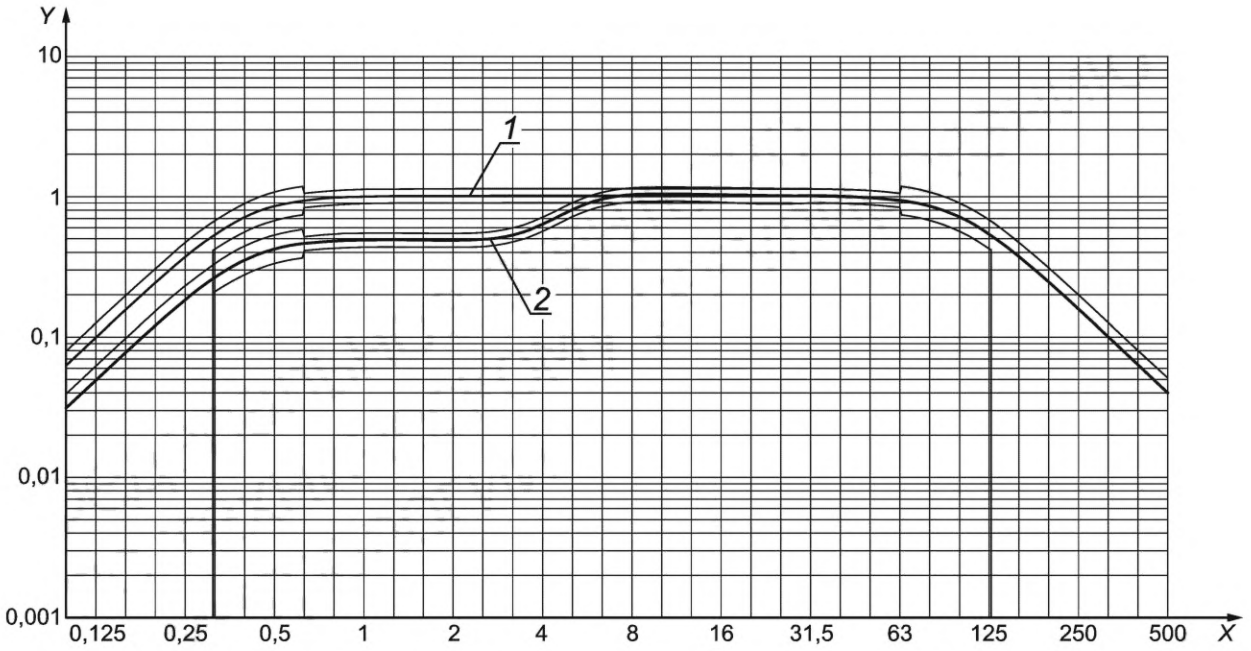


X — частота, Гц; *Y* — фаза частотной характеристики; *1* — полосовой фильтр; *2* — функция частотной коррекции

Рисунок В.12 — Фаза функции частотной коррекции W_h по *ГОСТ 31192.1*

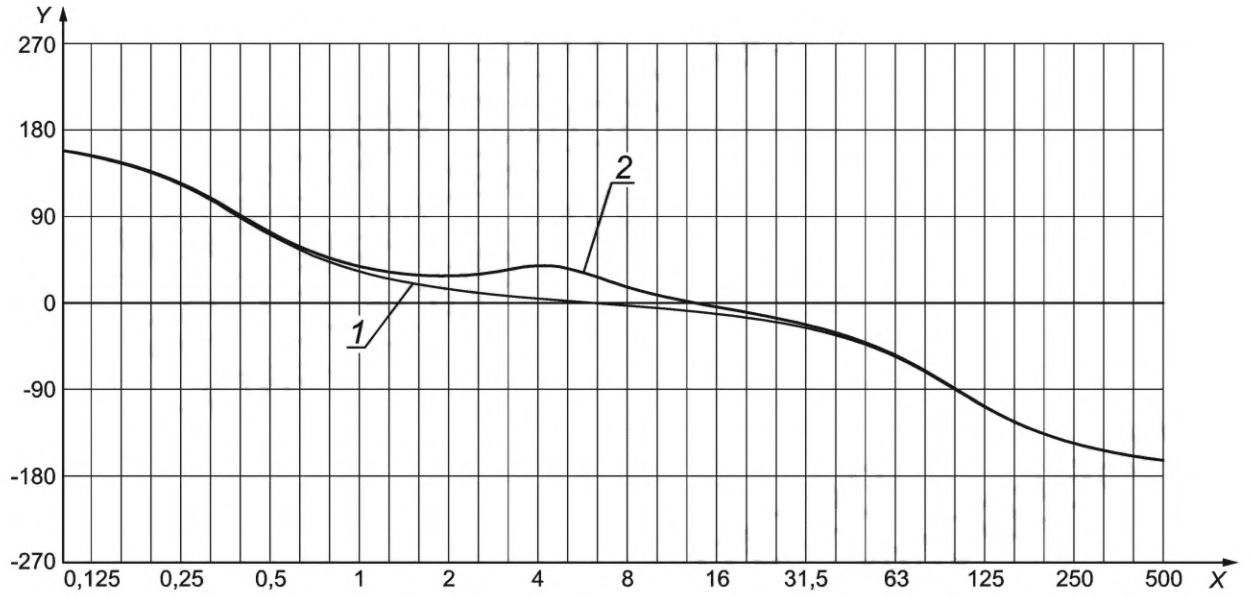
Таблица В.7 — Функция частотной коррекции W_j для вибрации в вертикальном направлении (ось *x*), воздействующей на голову лежащего человека (на основе *ГОСТ 31191.1*)

n	Среднегеометрическая частота, Гц		Характеристика полосового фильтра			Функция частотной коррекции W_j			Допуск		
	Номинальная	Истинная	Модуль	дБ	Фаза, град	Модуль	дБ	Фаза, град	Модуль, %	дБ	$\Delta\varphi_0$, град
−10	0,1	0,1000	0,06238	−24,10	159,3	0,03099	−30,18	159,8	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
−9	0,125	0,1259	0,09857	−20,12	153,6	0,04897	−26,20	154,2	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
−8	0,16	0,1585	0,1551	−16,19	146,3	0,07703	−22,27	147,0	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
−7	0,2	0,1995	0,2415	−12,34	136,6	0,1199	−18,42	137,6	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
−6	0,25	0,2512	0,3669	−8,71	124,1	0,1821	−14,79	125,3	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
−5	0,315	0,3162	0,5300	−5,51	108,3	0,2630	−11,60	109,9	+26/−21	+2/−2	+12/−12
−4	0,4	0,3981	0,7037	−3,05	90,06	0,3489	−9,15	92,06	+26/−21	+2/−2	+12/−12
−3	0,5	0,5012	0,8434	−1,48	71,76	0,4176	−7,58	74,31	+26/−21	+2/−2	+12/−12
−2	0,63	0,6310	0,9279	−0,65	55,78	0,4585	−6,77	59,02	+12/−11	+1/−1	+6/−6
−1	0,8	0,7943	0,9693	−0,27	43,01	0,4776	−6,42	47,18	+12/−11	+1/−1	+6/−6
0	1	1,000	0,9874	−0,11	33,15	0,4844	−6,30	38,57	+12/−11	+1/−1	+6/−6
1	1,25	1,259	0,9949	−0,04	25,54	0,4851	−6,28	32,71	+12/−11	+1/−1	+6/−6
2	1,6	1,585	0,9980	−0,02	19,58	0,4832	−6,32	29,31	+12/−11	+1/−1	+6/−6
3	2	1,995	0,9992	−0,01	14,84	0,4819	−6,34	28,42	+12/−11	+1/−1	+6/−6
4	2,5	2,512	0,9997	0,00	10,97	0,4889	−6,22	30,41	+12/−11	+1/−1	+6/−6
5	3,15	3,162	0,9999	0,00	7,740	0,5246	−5,60	35,14	+12/−11	+1/−1	+6/−6
6	4	3,981	0,9999	0,00	4,941	0,6251	−4,08	39,31	+12/−11	+1/−1	+6/−6
7	5	5,012	1,0000	0,00	2,416	0,7948	−1,99	36,78	+12/−11	+1/−1	+6/−6
8	6,3	6,310	1,0000	0,00	0,0244	0,9470	−0,47	27,42	+12/−11	+1/−1	+6/−6
9	8	7,943	1,0000	0,00	−2,366	1,016	0,14	17,07	+12/−11	+1/−1	+6/−6
10	10	10,00	0,9999	0,00	−4,887	1,030	0,26	8,688	+12/−11	+1/−1	+6/−6
11	12,5	12,59	0,9999	0,00	−7,679	1,026	0,22	2,043	+12/−11	+1/−1	+6/−6
12	16	15,85	0,9997	0,00	−10,90	1,019	0,16	−3,729	+12/−11	+1/−1	+6/−6
13	20	19,95	0,9992	−0,01	−14,75	1,012	0,10	−9,330	+12/−11	+1/−1	+6/−6
14	25	25,12	0,9980	−0,02	−19,47	1,006	0,06	−15,31	+12/−11	+1/−1	+6/−6
15	31,5	31,62	0,9950	−0,04	−25,40	1,000	0,00	−22,16	+12/−11	+1/−1	+6/−6
16	40	39,81	0,9877	−0,11	−32,97	0,9911	−0,08	−30,43	+12/−11	+1/−1	+6/−6
17	50	50,12	0,9699	−0,27	−42,78	0,9720	−0,25	−40,78	+12/−11	+1/−1	+6/−6
18	63	63,10	0,9291	−0,64	−55,49	0,9304	−0,63	−53,90	+12/−11	+1/−1	+6/−6
19	80	79,43	0,8457	−1,46	−71,41	0,8465	−1,45	−70,15	+26/−21	+2/−2	+12/−12
20	100	100,0	0,7071	−3,01	−89,68	0,7075	−3,01	−88,68	+26/−21	+2/−2	+12/−12
21	125	125,9	0,5336	−5,46	−107,9	0,5338	−5,45	−107,1	+26/−21	+2/−2	+12/−12
22	160	158,5	0,3699	−8,64	−123,8	0,3700	−8,64	−123,2	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
23	200	199,5	0,2436	−12,27	−136,4	0,2437	−12,26	−135,9	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
24	250	251,2	0,1565	−16,11	−146,1	0,1565	−16,11	−145,7	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
25	315	316,2	0,09950	−20,04	−153,5	0,09951	−20,04	−153,2	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
26	400	398,1	0,06297	−24,02	−159,2	0,06297	−24,02	−158,9	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞



X — частота, Гц; *Y* — модуль частотной характеристики; *1* — полосовой фильтр; *2* — функция частотной коррекции

Рисунок В.13 — Модуль функции частотной коррекции W_j по *ГОСТ 31191.1*

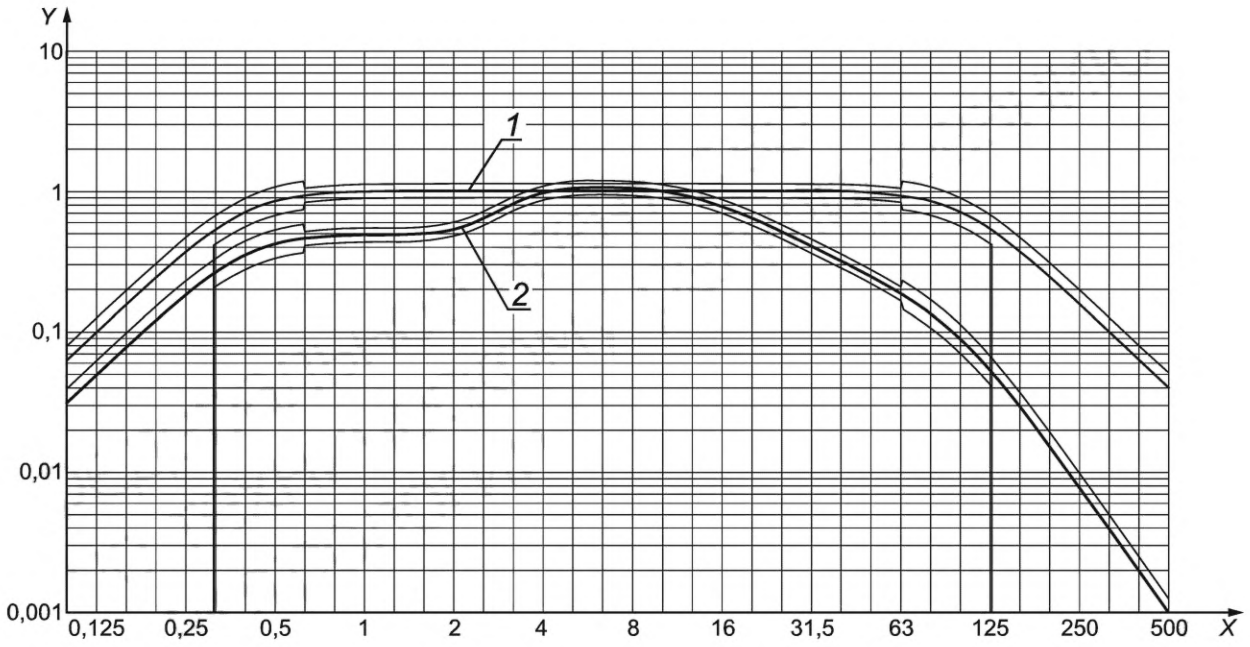


X — частота, Гц; *Y* — фаза частотной характеристики; *1* — полосовой фильтр; *2* — функция частотной коррекции

Рисунок В.14 — Фаза функции частотной коррекции W_j по *ГОСТ 31191.1*

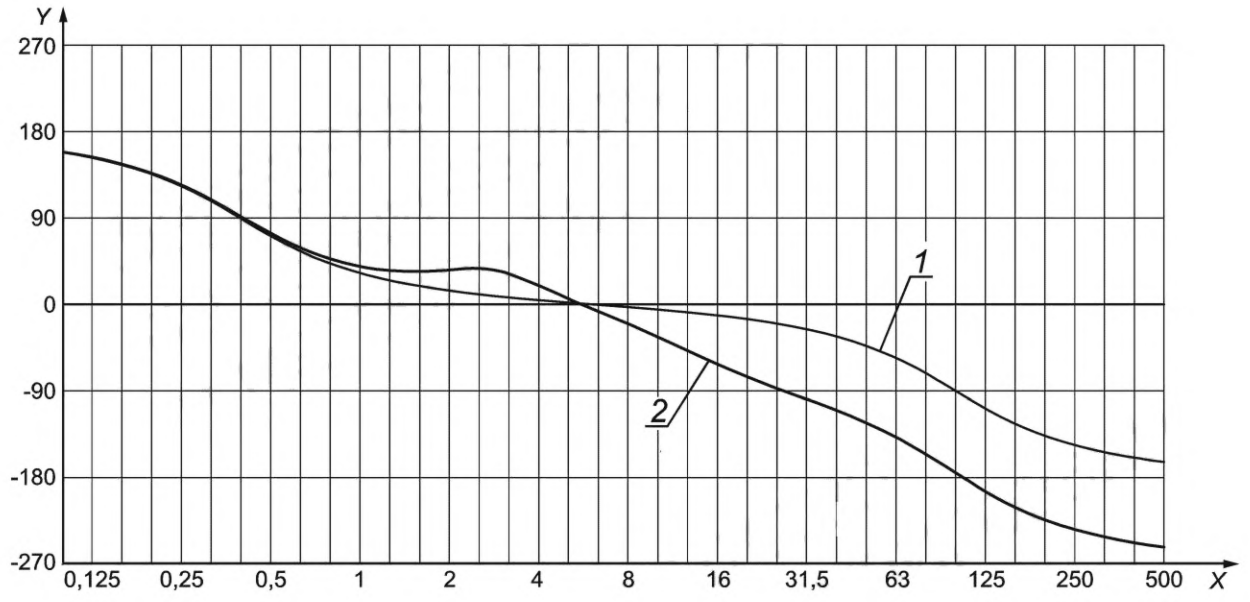
Таблица В.8 — Функция частотной коррекции W_k для общей вибрации в вертикальном направлении (ось *z*), воздействующей на человека в положении сидя, стоя или лежа (на основе *ГОСТ 31191.1*)

n	Среднегеометрическая частота, Гц		Характеристика полосового фильтра			Функция частотной коррекции W_k			Допуск		
	Номинальная	Истинная	Модуль	дБ	Фаза, град	Модуль	дБ	Фаза, град	Модуль, %	дБ	$\Delta\varphi_0$, град
−10	0,1	0,1000	0,06238	−24,10	159,3	0,03121	−30,11	159,8	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
−9	0,125	0,1259	0,09857	−20,12	153,6	0,04931	−26,14	154,3	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
−8	0,16	0,1585	0,1551	−16,19	146,3	0,07756	−22,21	147,1	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
−7	0,2	0,1995	0,2415	−12,34	136,6	0,1207	−18,37	137,7	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
−6	0,25	0,2512	0,3669	−8,71	124,1	0,1832	−14,74	125,4	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
−5	0,315	0,3162	0,5300	−5,51	108,3	0,2644	−11,55	109,9	+26/−21	+2/−2	+12/−12
−4	0,4	0,3981	0,7037	−3,05	90,06	0,3504	−9,11	92,20	+26/−21	+2/−2	+12/−12
−3	0,5	0,5012	0,8434	−1,48	71,76	0,4188	−7,56	74,54	+26/−21	+2/−2	+12/−12
−2	0,63	0,6310	0,9279	−0,65	55,78	0,4588	−6,77	59,44	+12/−11	+1/−1	+6/−6
−1	0,8	0,7943	0,9693	−0,27	43,01	0,4767	−6,44	47,96	+12/−11	+1/−1	+6/−6
0	1	1,000	0,9874	−0,11	33,15	0,4825	−6,33	40,06	+12/−11	+1/−1	+6/−6
1	1,25	1,259	0,9949	−0,04	25,54	0,4846	−6,29	35,55	+12/−11	+1/−1	+6/−6
2	1,6	1,585	0,9980	−0,02	19,58	0,4935	−6,13	34,48	+12/−11	+1/−1	+6/−6
3	2	1,995	0,9992	−0,01	14,84	0,5308	−5,50	36,45	+12/−11	+1/−1	+6/−6
4	2,5	2,512	0,9997	0,00	10,97	0,6335	−3,97	37,98	+12/−11	+1/−1	+6/−6
5	3,15	3,162	0,9999	0,00	7,740	0,8071	−1,86	32,73	+12/−11	+1/−1	+6/−6
6	4	3,981	0,9999	0,00	4,941	0,9648	−0,31	20,35	+12/−11	+1/−1	+6/−6
7	5	5,012	1,0000	0,00	2,416	1,039	0,33	6,309	+12/−11	+1/−1	+6/−6
8	6,3	6,310	1,0000	0,00	0,0244	1,054	0,46	−6,841	+12/−11	+1/−1	+6/−6
9	8	7,943	1,0000	0,00	−2,366	1,037	0,32	−19,73	+12/−11	+1/−1	+6/−6
10	10	10,00	0,9999	0,00	−4,887	0,9884	−0,10	−33,30	+12/−11	+1/−1	+6/−6
11	12,5	12,59	0,9999	0,00	−7,679	0,8989	−0,93	−47,62	+12/−11	+1/−1	+6/−6
12	16	15,85	0,9997	0,00	−10,90	0,7743	−2,22	−61,84	+12/−11	+1/−1	+6/−6
13	20	19,95	0,9992	−0,01	−14,75	0,6373	−3,91	−75,03	+12/−11	+1/−1	+6/−6
14	25	25,12	0,9980	−0,02	−19,47	0,5103	−5,84	−87,02	+12/−11	+1/−1	+6/−6
15	31,5	31,62	0,9950	−0,04	−25,40	0,4031	−7,89	−98,35	+12/−11	+1/−1	+6/−6
16	40	39,81	0,9877	−0,11	−32,97	0,3160	−10,01	−109,9	+12/−11	+1/−1	+6/−6
17	50	50,12	0,9699	−0,27	−42,78	0,2451	−12,21	−122,7	+12/−11	+1/−1	+6/−6
18	63	63,10	0,9291	−0,64	−55,49	0,1857	−14,62	−137,6	+12/−11	+1/−1	+6/−6
19	80	79,43	0,8457	−1,46	−71,41	0,1339	−17,47	−155,2	+26/−21	+2/−2	+12/−12
20	100	100,0	0,7071	−3,01	−89,68	0,08873	−21,04	−174,8	+26/−21	+2/−2	+12/−12
21	125	125,9	0,5336	−5,46	−107,9	0,05311	−25,50	−194,1	+26/−21	+2/−2	+12/−12
22	160	158,5	0,3699	−8,64	−123,8	0,02922	−30,69	−210,7	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
23	200	199,5	0,2436	−12,27	−136,4	0,01528	−36,32	−224,0	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
24	250	251,2	0,1565	−16,11	−146,1	0,007795	−42,16	−234,2	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
25	315	316,2	0,09950	−20,04	−153,5	0,003935	−48,10	−241,9	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
26	400	398,1	0,06297	−24,02	−159,2	0,001978	−54,08	−247,9	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞



X — частота, Гц; *Y* — модуль частотной характеристики; *1* — полосовой фильтр; *2* — функция частотной коррекции

Рисунок В.15 — Модуль функции частотной коррекции W_k по *ГОСТ 31191.1*

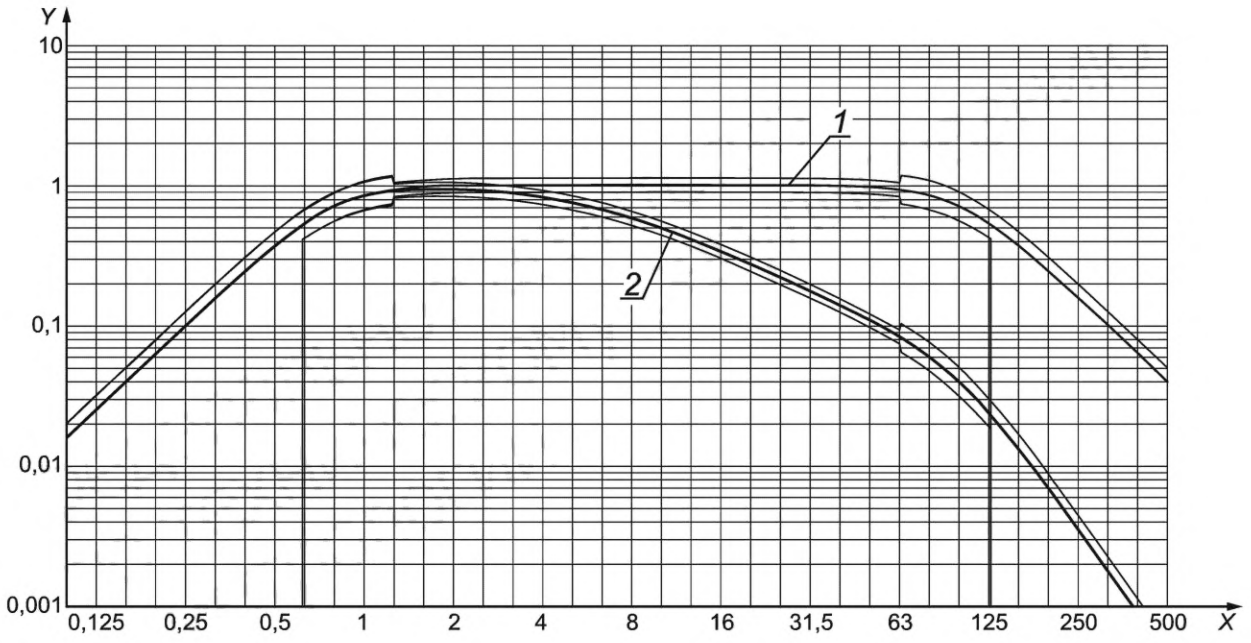


X — частота, Гц; *Y* — фаза частотной характеристики; *1* — полосовой фильтр; *2* — функция частотной коррекции

Рисунок В.16 — Фаза функции частотной коррекции W_k по *ГОСТ 31191.1*

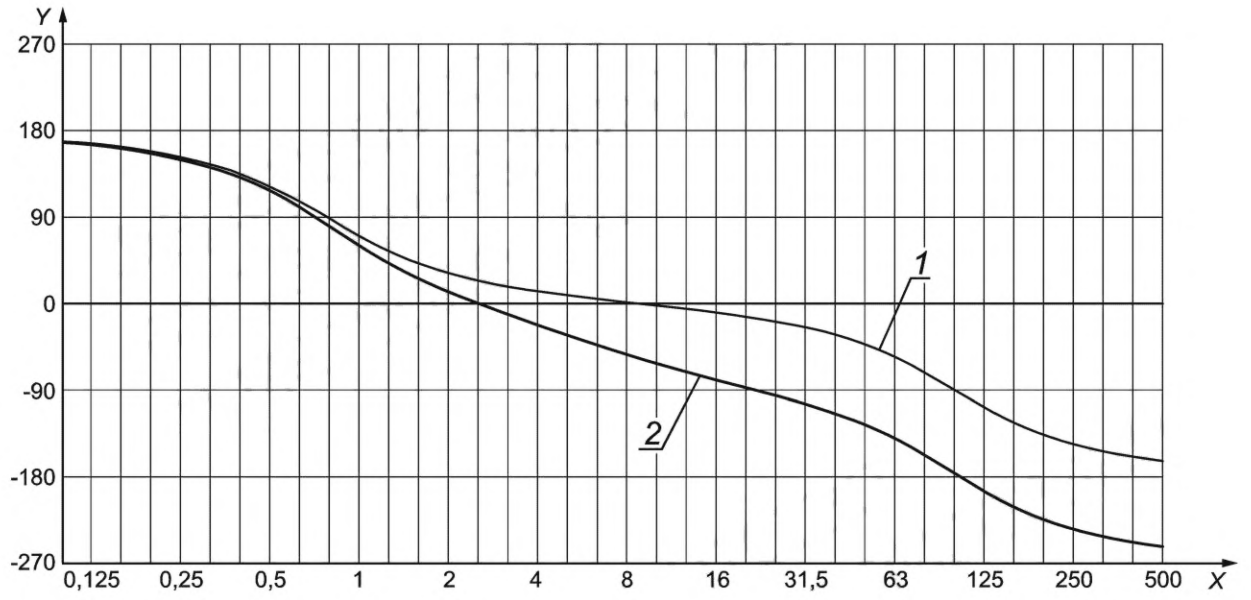
Таблица В.9 — Функция частотной коррекции W_m для общей вибрации в зданиях во всех направлениях (на основе *ГОСТ 31191.2*)

n	Среднегеометрическая частота, Гц		Характеристика полосового фильтра			Функция частотной коррекции W_m			Допуск		
	Номинальная	Истинная	Модуль	дБ	Фаза, град	Модуль	дБ	Фаза, град	Модуль, %	дБ	$\Delta\varphi_0$, град
−10	0,1	0,1000	0,01585	−36,00	169,7	0,01584	−36,00	168,7	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
−9	0,125	0,1259	0,02511	−32,00	166,9	0,02510	−32,00	165,7	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
−8	0,16	0,1585	0,03978	−28,01	163,5	0,03976	−28,01	161,9	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
−7	0,2	0,1995	0,06297	−24,02	159,1	0,06293	−24,02	157,1	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
−6	0,25	0,2512	0,0995	−20,04	153,4	0,09941	−20,05	150,8	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
−5	0,315	0,3162	0,1565	−16,11	146,0	0,1563	−16,12	142,8	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
−4	0,4	0,3981	0,2436	−12,27	136,3	0,2430	−12,29	132,2	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
−3	0,5	0,5012	0,3699	−8,64	123,6	0,3684	−8,67	118,6	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
−2	0,63	0,6310	0,5336	−5,45	107,7	0,5304	−5,51	101,3	+26/−21	+2/−2	+12/−12
−1	0,8	0,7943	0,7071	−3,01	89,36	0,7003	−3,09	81,40	+26/−21	+2/−2	+12/−12
0	1	1,000	0,8457	−1,46	71,00	0,8329	−1,59	42,49	+26/−21	+2/−2	+12/−12
1	1,25	1,259	0,9291	−0,64	54,98	0,9071	−0,85	26,56	+12/−11	+1/−1	+6/−6
2	1,6	1,585	0,9699	−0,27	42,14	0,9342	−0,59	12,83	+12/−11	+1/−1	+6/−6
3	2	1,995	0,9877	−0,11	32,17	0,9319	−0,61	0,5459	+12/−11	+1/−1	+6/−6
4	2,5	2,512	0,9950	−0,04	24,39	0,9101	−0,82	−10,89	+12/−11	+1/−1	+6/−6
5	3,15	3,162	0,9980	−0,02	18,20	0,8721	−1,19	−21,86	+12/−11	+1/−1	+6/−6
6	4	3,981	0,9992	−0,01	13,15	0,8184	−1,74	−32,52	+12/−11	+1/−1	+6/−6
7	5	5,012	0,9997	0,00	8,884	0,7498	−2,50	−42,85	+12/−11	+1/−1	+6/−6
8	6,3	6,310	0,9999	0,00	5,135	0,6692	−3,49	−52,73	+12/−11	+1/−1	+6/−6
9	8	7,943	0,9999	0,00	1,680	0,5819	−4,70	−62,07	+12/−11	+1/−1	+6/−6
10	10	10,00	0,9999	0,00	−1,680	0,4941	−6,12	−70,84	+12/−11	+1/−1	+6/−6
11	12,5	12,59	0,9999	0,00	−5,135	0,4114	−7,71	−79,15	+12/−11	+1/−1	+6/−6
12	16	15,85	0,9997	0,00	−8,884	0,3375	−9,44	−87,25	+12/−11	+1/−1	+6/−6
13	20	19,95	0,9992	−0,01	−13,15	0,2738	−11,25	−95,45	+12/−11	+1/−1	+6/−6
14	25	25,12	0,9980	−0,02	−18,20	0,2203	−13,14	−104,2	+12/−11	+1/−1	+6/−6
15	31,5	31,62	0,9950	−0,04	−24,39	0,1760	−15,09	−114,0	+12/−11	+1/−1	+6/−6
16	40	39,81	0,9877	−0,11	−32,17	0,1396	−17,10	−125,7	+12/−11	+1/−1	+6/−6
17	50	50,12	0,9699	−0,27	−42,14	0,1093	−19,23	−139,8	+12/−11	+1/−1	+6/−6
18	63	63,10	0,9291	−0,64	−54,98	0,08336	−21,58	−156,9	+12/−11	+1/−1	+6/−6
19	80	79,43	0,8457	−1,46	−71,00	0,06036	−24,38	−176,1	+26/−21	+2/−2	+12/−12
20	100	100,0	0,7071	−3,01	−89,36	0,04013	−27,93	−195,1	+26/−21	+2/−2	+12/−12
21	125	125,9	0,5336	−5,46	−107,7	0,02407	−32,37	−211,5	+26/−21	+2/−2	+12/−12
22	160	158,5	0,3699	−8,64	−123,6	0,01326	−37,55	−224,6	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
23	200	199,5	0,2436	−12,27	−136,3	0,006937	−43,18	−234,7	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
24	250	251,2	0,1565	−16,11	−146,0	0,003541	−49,02	−242,3	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
25	315	316,2	0,09950	−20,04	−153,4	0,001788	−54,95	−248,3	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞
26	400	398,1	0,06297	−24,02	−159,1	0,000899	−60,92	−252,8	+26/−100	+2/−∞	+∞/−∞



X — частота, Гц; *Y* — модуль частотной характеристики; *1* — полосовой фильтр; *2* — функция частотной коррекции

Рисунок В.17 — Модуль функции частотной коррекции W_m по *ГОСТ 31191.2*



X — частота, Гц; *Y* — фаза частотной характеристики; *1* — полосовой фильтр; *2* — функция частотной коррекции

Рисунок В.18 — Фаза функции частотной коррекции W_m по *ГОСТ 31191.2*

Приложение С
(справочное)

Реализация фильтров частотной коррекции

С.1 Реализация фильтров в частотной области

С.1.1 Общие положения

Для получения среднеквадратичного значения корректированного ускорения a_w могут быть использованы любые методы частотного анализа [аналоговые или цифровые, в реальном масштабе времени, в третьоктавных полосах или с использованием быстрого преобразования Фурье (БПФ)], позволяющие вычислить среднеквадратичные значения спектральных составляющих ускорения a_i для их последующего возведения в квадрат и суммирования с соответствующими весовыми коэффициентами по формуле

$$a_w = \left[\sum_i (w_i a_i)^2\right]^{1/2}, \qquad (C.1)$$

где w_i — значение функции частотной коррекции на среднегеометрической частоте i-й полосы частот.

Примечание — Частотный анализ нельзя применять для получения значения дозы вибрации VDV. Его нельзя использовать также для получения текущего среднеквадратичного значения корректированного ускорения по настоящему стандарту, поскольку время интегрирования или постоянная времени интегрирования (1 с) сопоставимы с постоянной времени фильтра (величиной, обратно пропорциональной ширине полосы частот).

С.1.2 Анализ в третьоктавных полосах

Значения среднегеометрических частот при третьоктавном анализе — в соответствии с таблицами В.1—В.9. В диапазон анализа должны входить по крайней мере по одной третьоктавной полосе выше и ниже номинального диапазона, определяемого границами f_1 и f_2 по таблице 3.

Перед проведением операций возведения в квадрат и суммирования по формуле (С.1) значения ускорения следует умножить на соответствующее значение функции частотной коррекции (см. 5.6, таблицы В.1—В.9).

С.1.3 Быстрое преобразование Фурье

Среднеквадратичное значение корректированного ускорения a_w может быть получено на основе среднеквадратичных значений составляющих БПФ сигнала вибрации в соответствии с формулой (С.1) или на основе составляющих спектральной плотности мощности P_i по формуле

$$a_w = \left[\sum_i (w_i)^2 P_i \Delta f\right]^{1/2}. \qquad (C.2)$$

В каждом из этих случаев весовые коэффициенты w_i (значения функции частотной коррекции) следует рассчитывать по формулам 5.6, а не брать из таблиц приложения В.

При суммировании спектральных составляющих следует принимать во внимание эффект просачивания спектральных составляющих, связанный с процедурой использования временного окна для формирования выборки. При анализе в широкой полосе частот рассчитанное в соответствии с формулой (С.2) среднеквадратичное значение корректированного ускорения a_w следует разделить на коэффициент, соответствующий ширине полосы эквивалентного идеального фильтра, пропускающего белый шум такой же мощности (см. таблицу С.1).

Таблица С.1 — Временные оконные функции и соответствующие коэффициенты

Форма окна[a)]	Коэффициент	Типичное применение
Хана (хэннинг)	1,50	Общего применения, нестационарный случайный процесс
Плосковершинное	3,77	Периодический или синусоидальный сигнал (например, при калибровке)
[a)] В других типичных ситуациях возможно применение других временных окон.		

БПФ-анализаторы обычно учитывают коэффициент выбранного временного окна по умолчанию.

Разрешение по частоте для БПФ должно быть менее 40 %, а лучше менее 20 % нижней границы номинального диапазона частот. Частота выборки должна по крайней мере в пять раз превышать верхнюю границу номинального диапазона частот.

С.2 Реализация фильтров во временной области

С.2.1 Общие положения

Оценка сигналов ускорения с точки зрения их воздействия на человека включает процедуру частотной коррекции с использованием одного из фильтров, описанных в 5.6. В случае линейного усреднения по времени при

определении среднеквадратичного значения корректированного ускорения процедура умножения на функцию частотной коррекции может быть осуществлена как до интегрирования, так и после вычисления среднеквадратичных значений спектральных составляющих — результат будет одним и тем же. Но для определения таких параметров, как максимальное кратковременное среднеквадратичное значение MTTV, необходимо измерять максимальное значение текущего среднеквадратичного значения ускорения (см. приложение D). В этом случае процедура умножения на функцию частотной коррекции должна быть выполнена до интегрирования по времени.

Применение при анализе во временной области цифровых фильтров позволяет ограничить использование дорогостоящих и громоздких (особенно в многоканальных системах) аналоговых устройств.

С.2.2 Преобразование из частотного представления во временное

Подобно тому, как для построения аналоговых фильтров в частотной области используется преобразование Лапласа, для программно реализуемой цифровой фильтрации часто применяют *z*-преобразование. Передаточная функция цифрового фильтра может быть представлена в виде его *z*-преобразования $H(z)$. В *z*-области преобразование $Y(z)$ выходного сигнала цифрового фильтра связано с z-преобразованием входного сигнала $X(z)$ формулой

$$Y(z) = H(z)X(z). \tag{C.3}$$

Передаточная функция цифрового фильтра $H(z)$ может быть представлена в виде

$$H(z) = \frac{\sum_{i=0}^{M} b_i z^{-i}}{1 + \sum_{i=1}^{N} a_i z^{-i}}, \tag{C.4}$$

где a_i и b_i — постоянные коэффициенты;

M и N — число нулей и полюсов фильтра соответственно.

Эквивалентная формула во временной области будет иметь следующий вид:

$$y(t_i) = \sum_{k=0}^{M} b_k x(t_{i-k}) - \sum_{j=1}^{N} a_j y(t_{i-j}), \tag{C.5}$$

где $x(t_i)$ и $y(t_i)$ — выборочные значения входного и выходного сигналов соответственно в момент времени t_i.

С.2.3 Расчет коэффициентов фильтра

Коэффициенты фильтра a_i и b_i могут быть получены методом билинейного преобразования или методом инвариантного преобразования импульсной характеристики (см. [7]). Метод билинейного преобразования наилучшим образом подходит для фильтров Баттерворта, в частности фильтров верхних и нижних частот, описанных в 5.6. *z*-преобразование этих двухполюсных фильтров может быть получено из преобразования Лапласа передаточной функции в 5.6 заменой переменной Лапласа s по формуле

$$s = \frac{1}{T_s}\left(\frac{z-1}{z+1}\right), \tag{C.6}$$

где T_s — период выборки.

Аналогичный подход или альтернативный метод инвариантного преобразования импульсной характеристики может быть использован для переходных и ступенчатых фильтров.

С.2.4 Применение фильтров

Фильтры по очереди применяют к последовательности оцифрованных данных в порядке их поступления в соответствии с формулой (С.5).

В качестве примера на рисунке С.1 приведена программа фильтрации для частотной коррекции W_k в кодах MATLAB®, где используется встроенная функция 'fillter.m', а также стандартные функции анализа сигналов 'butter.m' и 'bilinear.m'[1)].

Примечание — Программа на рисунке С.1 требует, чтобы частота выборки по крайней мере в девять раз превышала значение верхней частоты диапазона измерений f_2 (см. таблицу 3), чтобы удовлетворить требованиям настоящего стандарта по допуску на функцию частотной коррекции. Требование к частоте выборке можно понизить, если изменить программу соответствующим образом, например использовать преобразование

$$s = \frac{2\pi f_{co}}{\tan(\pi f_{co} T_s)} \frac{z-1}{z+1},$$

где f_{co} — частота среза фильтра.

[1)] MATLAB® является примером подходящего для использования в данной ситуации коммерческого продукта. Данная информация дана только для удобства пользователей настоящего документа, и ее не следует рассматривать как поддержку данного продукта со стороны ИСО.

```
function y = isofilwk(x,fs)

%ISOFILWK
Filter ISO 8041 Wk, whole body, vertical direction
%            y = isofilwk(x,fs) ;
%            y output signal vector, acceleration
%            x input signal vector, acceleration
%            fs  sampling frequency Hz
%            bilinear transformation algorithm is used

f1 = 0.4;
f2 = 100;
f3 = 12.5;
f4 = 12.5;
Q4 = 0.63;
f5 = 2.37;
Q5 = 0.91;
f6 = 3.35;
Q6 = 0.91;

w3 = 2*pi*f3;
w4 = 2*pi*f4;
w5 = 2*pi*f5;
w6 = 2*pi*f6;

nyq = fs/2;                                                    % Nyquist frequency
%
% band limiting high pass and low pass
%
[b1,a1] =  butter(2,f1/nyq,'high1);                            % High pass
[b2,a2] =  butter(2,f2/nyq);                                   % Low pass
%
%  a-v  transition
%
B3   =   [1/w3   1];
A3   =   [1/w4/w4   1/Q4/w4   1];
[b3,a3]  =  bilinear(B3,A3,fs);
%
%  upward  step
%
B4 = [1/w5/w5 1/Q5/w5 1]*w5*w5/w6/w6;
A4 = [1/w6/w6 1/Q6/w6 1];
[b4,a4] = bilinear(B4,A4,fs);
%
% Apply filter to input signal vector x (output to signal vector y)
%
y = filter(b2,a2,x);
y = filter(b1/a1/y);
y = filter(b3,a3,y);
y = filter(b4,a4,y);
```

Рисунок С.1 — Пример программы, реализующей частотную коррекцию W_k

Приложение D
(справочное)

Измерение текущего среднеквадратичного значения корректированного ускорения

D.1 Линейное усреднение

Для практической реализации измерения текущего среднеквадратичного значения корректированного ускорения с использованием линейного усреднения применяют цифровые методы обработки сигнала, позволяющие хранить большие массивы данных (выборочных значений сигнала) (см. рисунок D.1).

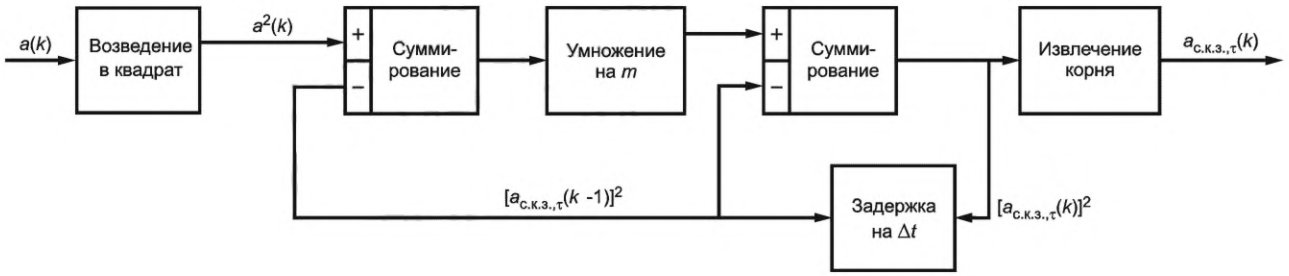


k — текущий номер в выборке; Δt — период дискретизации; θ — время интегрирования

Рисунок D.1 — Метод линейного усреднения

D.2 Экспоненциальное усреднение

Метод экспоненциального усреднения долгое время являлся доминирующим при измерении шума и вибрации, воздействующих на человека. Вначале этот метод был стандартизован для шумомеров (временные коррекции «медленно» с постоянной времени 1 с и «быстро» с постоянной времени 0,125 с), а потом и для виброметров. Экспоненциальное усреднение называют также «экспоненциальное интегрирование». Схема реализации данного метода показана на рисунке D.2.



$m = 1 - \exp(-\Delta t/\tau)$; t — постоянная времени экспоненциального усреднения

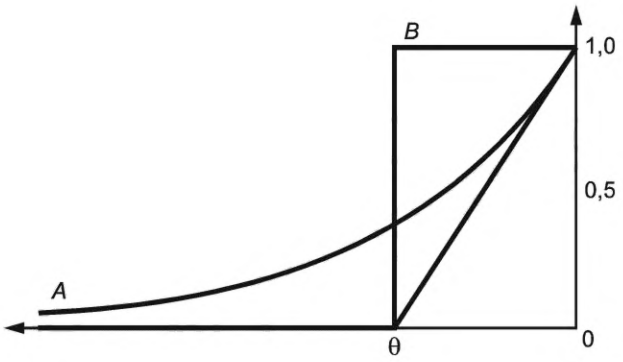
Рисунок D.2 — Метод экспоненциального усреднения

D.3 Сравнение двух методов усреднения

Результаты измерений, полученные с использованием формул из 3.1.2.3 и 3.1.2.4, могут существенно различаться между собой. Существует два основных критерия эквивалентности результатов, полученных этими методами, которые применяют в зависимости от вида измерений и типа вибрационного сигнала:

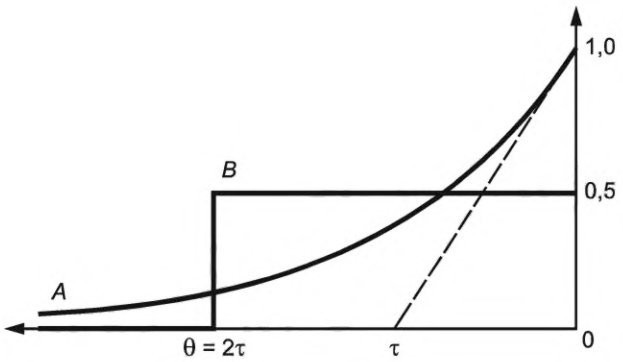
a) критерий эквивалентности 1 (см. рисунок D.3). Для наилучшего совпадения результатов измерений MTVV в случае импульсных сигналов (ударов) время интегрирования при линейном усреднении следует выбирать примерно равным постоянной времени при экспоненциальном усреднении. Тем не менее и в этом случае возможны значительные расхождения в результатах измерений, которые зависят от длительности и формы импульсного сигнала;

b) критерий эквивалентности 2 (см. рисунок D.4). С точки зрения наилучшего совпадения статистических параметров измерений текущего среднеквадратичного значения корректированного ускорения (дисперсия, интервал охвата и др.) в случае случайного сигнала время интегрирования при линейном усреднении следует выбирать в два раза большим постоянной времени при экспоненциальном усреднении. То же самое справедливо в случае последовательности импульсов или периодических сигналов с небольшим шумом, однако при этом в случае линейного усреднения результат может значительно зависеть от соотношения времени интегрирования и периода сигнала.



A — весовая функция экспоненциального усреднения; *B* — весовая функция линейного усреднения

Рисунок D.3 — Временные весовые функции, обеспечивающие приблизительную эквивалентность результатов измерений максимального кратковременного среднеквадратичного значения корректированного ускорения для импульсных сигналов



A — весовая функция экспоненциального усреднения; *B* — весовая функция линейного усреднения

Рисунок D.4 — Временные весовые функции, обеспечивающие приблизительную эквивалентность результатов измерений среднеквадратичных значений и других статистических характеристик сигналов

Приложение Е
(рекомендуемое)

Характеристики преобразователя вибрации

Е.1 Общие положения

Выбор преобразователей вибрации, применяемых в задачах измерения вибрации, воздействующей на человека, зависит от многих факторов, в частности:

- целей применения (измерение локальной, общей или общей низкочастотной вибрации);
- назначения измерений (для оценки влияния вибрации на здоровье, комфорт или оценки чувствительности к вибрации);
- условий окружающей среды (например, температуры воздуха, влажности, запыленности);
- условий крепления (например, крепление на легкие конструкции, с ограниченным пространством для установки преобразователя).

В настоящем приложении характеристики преобразователей вибрации даны исходя из задачи оценки влияния вибрации на здоровье человека. Для других целей измерения требования к этим характеристикам могут быть ослаблены или, наоборот, ужесточены.

Примечание — В настоящем стандарте предполагается, что величиной, измеряемой с помощью преобразователя вибрации, является ускорение. Это не исключает применения преобразователей для других величин, описывающих вибрацию, таких, например, как скорость, при условии соблюдения всех требований настоящего стандарта. При этом испытания с использованием тестовых электрических сигналов могут потребовать внесения соответствующих изменений.

Е.2 Характеристики

Рекомендуемые минимальные характеристики преобразователей вибрации (которые, однако, могут быть применены не во всех случаях) приведены в таблице Е.1.

Таблица Е.1 — Характеристики преобразователя вибрации в зависимости от применения

Параметр	Общие рекомендации исходя из влияния на неопределенность измерений	Применение			
		Локальная вибрация	Общая вибрация		Общая низкочастотная вибрация
			на транспорте	внутри помещений	
Максимальная общая масса (преобразователей и системы крепления)	Менее 10 % эффективной массы вибрирующей конструкции	30 г	450 г на сиденье; 50 г в других местах	1 кг	1 кг
Максимальная масса преобразователя		5 г	50 г	200 г	200 г
Максимальный общий размер (всех преобразователей и системы крепления)	Небольшой, чтобы оказывать минимальное влияние на деятельность человека	Кубик размером 25 мм	На сиденье: полужесткий диск (см. F.2) диаметром 300 мм и высотой 12 мм. В других местах: кубик размером 30 мм	200 × 200 × 50 мм	200 × 200 × 100 мм

Продолжение таблицы Е.1

Параметр	Общие рекомендации исходя из влияния на неопределенность измерений	Применение			
		Локальная вибрация	Общая вибрация		Общая низкочастотная вибрация
			на транспорте	внутри помещений	
Максимальная высота крепления	Если преобразователь закреплен над вибрирующей поверхностью (например, на адаптере) и измеряет вибрацию параллельно этой поверхности, то расстояние между измерительной осью преобразователя и вибрирующей поверхностью должно быть минимальным, чтобы избежать усиления угловых составляющих ускорения	10 мм	10 мм	25 мм	25 мм
Диапазон температур		От минус 10 °С до 50 °С	От минус 10 °С до 50 °С	От минус 10 °С до 50 °С	От минус 10 °С до 50 °С
Чувствительность к электромагнитным полям (30 мТл на частоте 50 или 60 Гц)		Менее 30 м/с^2/Тл	Менее 5 м/с^2/Тл	Менее 2 м/с^2/Тл	Менее 2 м/с^2/Тл
Чувствительность к звуковому давлению		Менее 0,05 м/с^2/кПа	Менее 0,01 м/с^2/кПа	Менее 0,01 м/с^2/кПа	Менее 0,01 м/с^2/кПа
Коэффициент поперечного преобразования		Менее 5 %	Менее 5 %	Менее 5 %	Менее 5 %
Максимальное ускорение (некорректированное)	Преобразователь вибрации должен выдерживать высокие ударные ускорения, которым он может быть подвергнут во время эксплуатации, с сохранением заданной точности измерений в заданном диапазоне частот	30000 м/с^2 (в отдельных случаях, например, при измерении вибрации пневматических молотков, до 50000 м/с^2)	1000 м/с^2	500 м/с^2	500 м/с^2
Фазовая характеристика	Важна при измерениях VDV, MTVV и пиковых значений	В пределах требований к характеристической фазовой девиации для виброметра (не допускается резких скачков фазовой характеристики в пределах рабочего диапазона частот виброметра)			

Окончание таблицы Е.1

Параметр	Общие рекомендации исходя из влияния на неопределенность измерений	Применение			
		Локальная вибрация	Общая вибрация		Общая низкочастотная вибрация
			на транспорте	внутри помещений	
Минимальная резонансная частота	Примерно в 10 раз выше верхней границы номинального диапазона частот	10 кГц	800 Гц	800 Гц	5 Гц
Минимальная защита оболочками	Для защиты от воздействия влаги и пыли (в зависимости от конкретного применения — измерения в лабораторных условиях, во взрывоопасных средах и пр. — могут быть установлены другие требования к оболочкам)	IP 55	IP 55	—	IP 55

Примечание 1 — Коэффициент поперечного преобразования зависит как от направления поперечной вибрации, так и, возможно, от ее частоты и уровня. Обычно данную величину представляют одним числом — максимальным значением коэффициента по всем направлениям, частотам и уровням из диапазона измерений.

Примечание 2 — При проведении многоканальных измерений (по трем или шести каналам) в результаты измерений могут быть внесены поправки на влияние коэффициента поперечного преобразования для разных направлений при условии наличия данной информации.

Примечание 3 — Поскольку высокочастотные составляющие вибрации, наблюдаемые при ударных и переходных быстропротекающих процессах, могут возбудить акселерометр на его резонансной частоте, в подобных ситуациях целесообразно использовать механический (низкочастотный) фильтр. Этот фильтр защитит также чувствительный элемент акселерометра от повреждения. Обычно считают, что возбуждение акселерометра на резонансе будет незначительным при выполнении условия $T \geq 5/f_n$, где f_n — резонансная частота акселерометра, T — длительность вибрационного воздействия (импульса).

Примечание 4 — Измерения вибрации в виде сильных ударов могут потребовать применения других преобразователей вибрации.

Приложение F
(рекомендуемое)

Испытания системы крепления преобразователя вибрации

F.1 Измерения локальной вибрации

F.1.1 Общие положения

Система крепления, используемая при измерениях локальной вибрации, должна иметь малую массу и размеры и высокую жесткость, чтобы выходной сигнал преобразователя вибрации как можно более точно воспроизводил ускорение вибрирующей поверхности.

В настоящем приложении приведены основные методы испытаний систем крепления однокомпонентного и трехкомпонентного преобразователей вибрации.

F.1.2 Метод испытаний

Во время испытаний акселерометр устанавливают так, как показано на рисунке F.1. Применяемый опорный преобразователь вибрации должен удовлетворять всем требованиям к акселерометру, установленным настоящим стандартом. Испытанию подвергают систему крепления и акселерометр, которые предназначены для использования в составе средства измерений, проверяемого на соответствие требованиям настоящего стандарта.

Испытания проводят с применением жестких рукояток цилиндрической формы диаметром 25 мм и длиной 125 мм. Вибрация должна воздействовать на рукоятку в направлении, указанном на рисунке F.1. Рукоятка может в любой точке иметь опору(ы) при условии, что она не будет оказывать влияния на систему крепления и мешать фиксации системы крепления, при необходимости, рукой во время испытаний. Все измерения проводят в направлении воздействия вибрации.

Если конструкция системы крепления предполагает ее фиксацию на месте кистью руки, то она должна быть испытана с фиксацией кистью руки при больших и меньших усилиях нажатия. Если в технической документации указаны дополнительные устройства фиксации, их следует применять в процессе испытаний.

Желательно иметь возможность измерять и контролировать усилие нажатия в ходе испытаний. Изменение усилия нажатия в процессе измерения может оказать влияние на передаточную характеристику системы крепления.

Рукоятку возбуждают однонаправленной вибрацией в виде белого шума, как показано на рисунке F.1. Диапазон частот вибрации — не менее чем от 31,5 до 1250 Гц; среднеквадратичное значение корректированного ускорения (для частотной коррекции W_h) — 10 м/с^2. Допуск на форму спектра сигнала, измеренного в контрольной точке испытуемой рукоятки, — ±20 %.

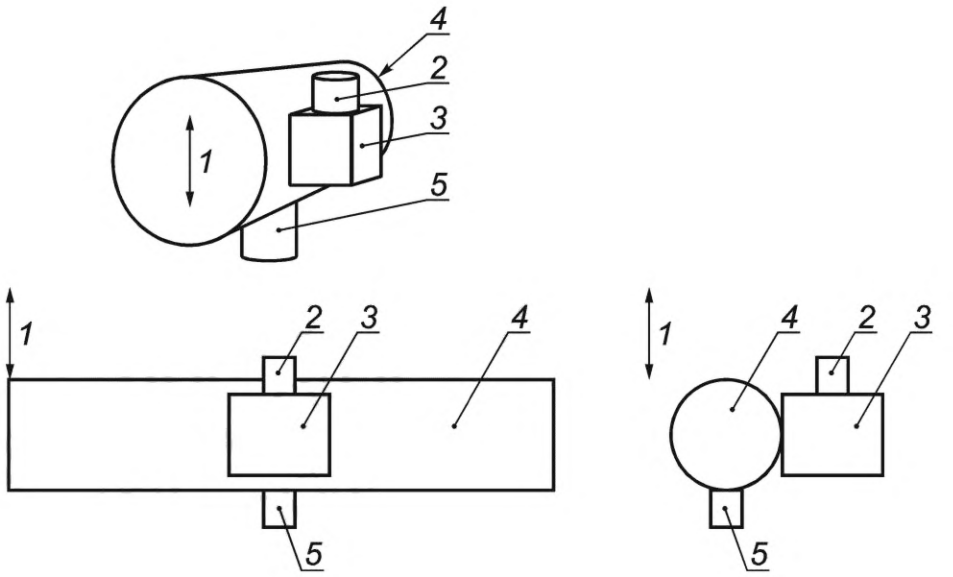
Выходные сигналы с опорного и испытуемого акселерометров поступают на вход двухканального анализатора, обеспечивающего разрешение по частоте не хуже 8 Гц. Диапазон анализа должен охватывать весь диапазон частот возбуждения.

Измерения повторяют три раза в течение не менее 30 с каждое. Между измерениями систему крепления переустанавливают заново.

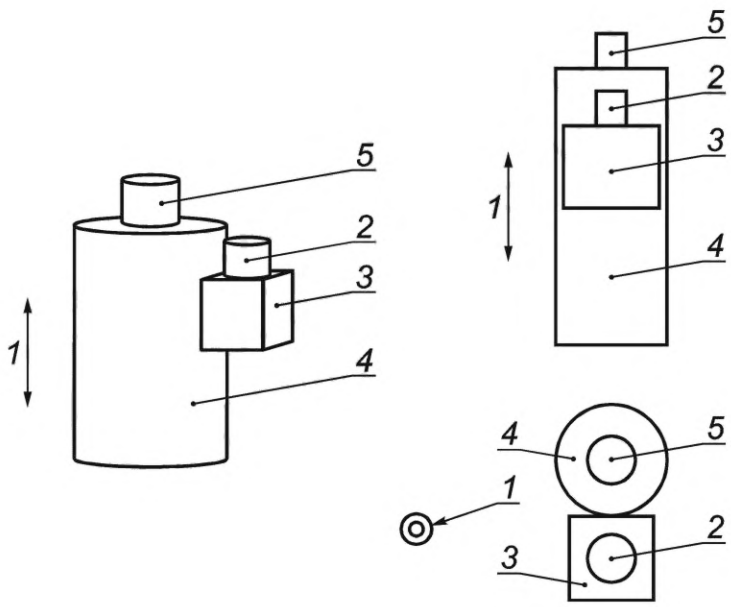
В процессе измерений определяют передаточную функцию между сигналами опорного и испытуемого акселерометров, которая не должна отличаться от единицы более чем на ±15 % во всем диапазоне частот измерений. Кроме этого, измеряют функцию когерентности, значение которой на всех частотах от 31,5 до 1250 Гц должно быть выше 0,8.

При отсутствии двухканального анализатора следует провести одновременные измерения спектров сигналов опорного и испытуемого акселерометров. На всех частотах от 31,5 до 1250 Гц спектр испытуемого акселерометра не должен отличаться от спектра опорного акселерометра более чем на 15 %.

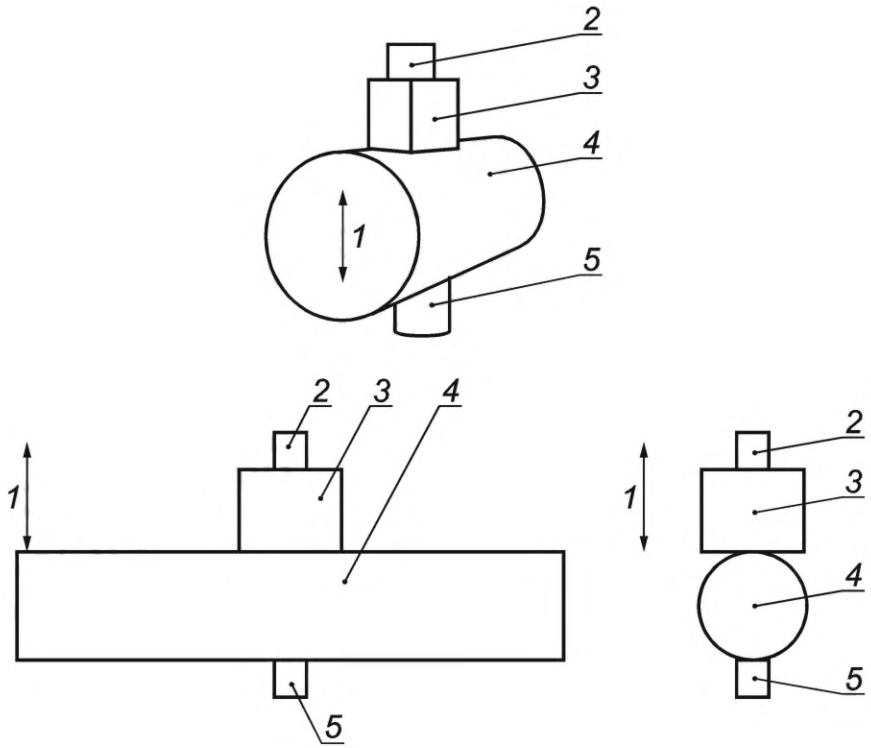
По возможности рекомендуется провести предварительные испытания закрепляемого акселерометра, установив его жестко на рукоятке, например с помощью шпильки или клея, т. е. без использования системы крепления. Сравнение результатов этих предварительных испытаний с полученными в ходе основных испытаний по данному приложению даст дополнительную информацию о работе системы крепления.



a) Измерения вдоль оси *x*



b) Измерения вдоль оси *y*



c) Измерения вдоль оси *z*

1 — направление воздействия вибрации; *2* — испытуемый акселерометр; *3* — испытуемая система крепления; *4* — рукоятка; *5* — опорный акселерометр

Рисунок F.1 — Взаимное расположение элементов при испытаниях системы крепления, используемой при измерениях локальной вибрации

F.1.3 Протокол испытаний

Протокол испытаний должен включать в себя следующую информацию:

a) тип и заводской номер опорного преобразователя вибрации;

b) разрешение по частоте при частотном анализе;

c) максимальное отклонение от единицы передаточной функции (в процентах) и частота, на которой это отклонение имеет место для испытаний по каждому из направлений возбуждения вибрации *x*, *y* и *z*.

Дополнительно может быть представлен график передаточной функции, полученной в результате испытаний.

F.2 Измерения общей вибрации

Один из методов крепления преобразователя вибрации для измерений общей вибрации на подушке или спинке сидения приведен в [*8*].

Согласно [*8*], в котором установлен лабораторный метод испытаний сиденья транспортного средства, акселерометр закрепляют в центре установочного диска диаметром (250 ± 50) мм. Толщина диска должна быть по возможности минимальной, а высота — не более 12 мм. Этот полужесткий установочный диск из формованной резины или пластика (твердостью приблизительно от 80 до 90 единиц по шкале Шора А) должен иметь в середине полость, в которую устанавливают акселерометр. Акселерометр прикрепляют к тонкому металлическому диску толщиной (1,5 ± 0,2) мм и диаметром (75 ± 5) мм.

Приложение G
(обязательное)

Техническая документация

G.1 Общая информация

Приводят следующую информацию:

a) ссылку на настоящий стандарт;

b) дату испытаний для подтверждения заявленных характеристик средства измерений с указанием прослеживаемости к национальным эталонам;

c) описание всего средства измерений в той конфигурации, которая обеспечивает нормальный режим его работы, включая при необходимости расширительные кабели, систему крепления, механический фильтр и другие вспомогательные устройства;

d) описание акселерометра(ов), рекомендуемого(ых) для использования в составе средства измерений;

e) описание характеристик и способов работы каждого канала многоканального средства измерений;

f) перечень дополнительных средств, которые могут потребоваться, чтобы средство измерений соответствовало установленным требованиям (например, механические фильтры, системы крепления или кабели, встраиваемые специализированные программные средства);

g) перечень дополнительных средств, которые могут быть использованы в специальных задачах и при особых обстоятельствах (например, средства крепления или преобразователи вибрации для проведения измерений в условиях сильных ударов).

G.2 Общие технические характеристики

Приводят следующую информацию:

a) описание величин, которые могут быть измерены с помощью средства измерений (среднеквадратичное значение корректированного ускорения, текущее среднеквадратичное значение корректированного ускорения, доза вибрации и др.) по отдельности или в совокупности;

b) описание применяемых частотных коррекций, для которых соблюдаются требования настоящего стандарта, и соответствующих им полосовых фильтров;

c) описание метода или методов, используемых для объединения данных измерений по нескольким направлениям вибрации, включая указание используемых частотных коррекций и соответствующих коэффициентов для разных направлений (в случае проведения измерений по нескольким направлениям);

d) сведения о дополнительных характеристиках средства измерений (включая функции частотной коррекции и передаточные функции фильтров), которые используют для измерений величин, не указанных в настоящем стандарте, и допусках на этих характеристики;

e) описание временных коррекций, используемых для измерений текущих значений параметра вибрации;

f) описание диапазонов измерений и способа управления этими диапазонами;

g) описание всех показывающих устройств, в том числе режимов работы цифровых показывающих устройств, и способ идентификации измеренной величины, отображенной на каждом показывающем устройстве. При наличии нескольких показывающих устройств должно быть указано, какие из них соответствуют требованиям настоящего стандарта, а какие предназначены для других целей.

Примечание — К показывающим устройствам не относят устройства выхода по постоянному или переменному току или цифровые выходы;

h) описание нормального режима работы средства измерений в целом;

i) перечень дополнительных устройств, предоставляемых изготовителем в комплекте и требования к которым установлены настоящим стандартом;

j) номинальные значения верхней и нижней границ линейного рабочего диапазона на частоте опорного сигнала для каждого диапазона измерений;

k) верхнюю и нижнюю границы (как функции частоты) для значений величин, которые могут быть измерены средством измерений с соблюдением допусков, установленных настоящим стандартом, для каждой используемой частотной коррекции и каждого режима измерений;

l) описание работы в режиме удержания максимального (пикового) значения и способ сброса показания удерживаемого значения;

m) описание процедуры приведения средства измерений в состояние готовности (после сброса данных) для измерения величин с усреднением на заданном интервале времени, пикового значения, дозы вибрации, максимального кратковременного среднеквадратичного значения с указанием, происходит ли при сбросе данных выключение индикатора перегрузки, и номинальной временной задержки между сбросом данных и началом периода измерений;

n) описание работы и способа интерпретации показаний индикаторов перегрузки и слабого сигнала, а также способа сброса индикации;

o) уникальные идентификационные данные компьютерных программ, необходимых для работы средства измерений, способы их установки и использования;

p) версии программных продуктов, используемых на внешних устройствах или встраиваемых в средство измерений, которые необходимы для соблюдения требований настоящего стандарта.

G.3 Коэффициент преобразования

Приводят следующую информацию:

a) описание вибрационного калибратора или калибраторов, которые могут быть использованы для определения коэффициента преобразования измерительной цепи средства измерений;

b) частоту(ы) проверки калибровки;

c) рекомендуемые методы контроля и регулировки коэффициента преобразования измерительной цепи для значения параметра вибрации опорного сигнала в опорном диапазоне измерений на частоте проверки калибровки;

d) предполагаемую скорость дрейфа коэффициента преобразования в нормальных рабочих условиях;

e) процедуру контроля на рабочем месте (см. раздел 15).

G.4 Чувствительность к изменению внешних факторов

Приводят следующую информацию:

a) способы внесения поправок в результаты измерений, выполненных в условиях температуры и влажности воздуха, отличающихся от нормальных;

b) перечень элементов средства измерений, удовлетворяющих соответствующим требованиям настоящего стандарта по чувствительности к изменению внешних условий;

c) интервал времени, необходимый для стабилизации работы средства измерений после изменения внешних условий;

d) описание влияния электростатических разрядов на работу средства измерений, указание на возможные ухудшения в работе средства измерений, частичную или полную потерю выполняемых функций в результате воздействия электростатических разрядов. Для средств измерений, требующих от пользователя доступа к некоторым точкам внутри виброметра в целях технического обслуживания, — соответствующие меры предосторожности (при необходимости) для защиты от электростатических разрядов;

e) подтверждение, что средство измерений удовлетворяет основным требованиям настоящего стандарта по устойчивости к воздействию радиочастотного электромагнитного поля и полей сетевой частоты;

f) режим(ы) работы средства измерений и присоединенных устройств, при котором устойчивость к воздействию радиочастотного электромагнитного поля и полей сетевой частоты минимальна;

g) ориентацию средства измерений, при которой его чувствительность к полям на сетевой частоте максимальна;

h) подтверждение соответствия требованиям по излучению в области радиочастот.

G.5 Питание

Приводят следующую информацию:

a) рекомендации по типу используемой батареи с указанием номинальной длительности ее работы в нормальных условиях при полной зарядке (для средства измерений с встроенными батареями питания);

b) описание рекомендуемого метода контроля состояния питания;

c) рекомендуемые способы работы виброметра от внешнего источника питания (если допускается питание от внешних источников);

d) номинальное напряжение сети и частоту переменного тока (для средства измерений, предназначенного для работы от сети переменного тока).

G.6 Преобразователь вибрации

Приводят следующую информацию:

a) зависимость коэффициента преобразования от частоты (либо номинальную для преобразователей данного типа, либо действительную для преобразователя, поставляемого в комплекте);

b) массы преобразователя вибрации и поставляемого в комплекте устройства (устройств) крепления;

c) геометрические размеры преобразователей вибрации и устройств крепления;

d) направления осей чувствительности преобразователя вибрации относительно точки крепления;

e) рабочий диапазон температур и чувствительность к температуре (температурный коэффициент);

f) чувствительность к электромагнитным полям;

g) чувствительность к звуковому давлению;

h) коэффициент поперечного преобразования;

i) максимально допустимое ускорение (при ударном воздействии);

j) резонансную частоту;

k) степень защиты от влаги и пыли.

G.7 Вспомогательные приспособления

Приводят следующую информацию:

a) поправки, которые необходимо внести в результаты измерений в случае использования дополнительных кабелей между акселерометром и другими элементами виброметра;

b) рекомендацию по максимальной длине кабеля между акселерометром и виброметром;

c) диапазон напряжений на электрическом выходе виброметра, внутренний электрический импеданс выходного устройства, рекомендуемый диапазон импедансов нагрузок и пределы допуска для выходного сигнала;

d) рекомендации по использованию виброметра с внешними фильтрами;

e) рекомендации по соединению вспомогательных устройств с виброметром и сведения о влиянии этих устройств на электрические характеристики средства измерений;

f) рекомендуемую длину соединительных кабелей и описание возможных присоединяемых устройств (для средств измерений, допускающих соединение кабелями отдельных элементов или присоединение с их помощью внешних устройств).

G.8 Работа средства измерений

Приводят следующую информацию:

a) время установления режима измерений после включения средства измерений, по истечении которого можно начать проводить измерения, для типичных условий окружающей среды;

b) временной интервал между окончанием измерения и появлением результатов измерения на показывающем устройстве;

c) максимальное и минимальное время интегрирования сигнала (периода измерений);

d) описание способа установки времени интегрирования (периода измерений);

e) описание рекомендуемого метода передачи, или загрузки цифровых данных на внешнее устройство хранения (накопитель), или отображения данных с указанием программного обеспечения и аппаратуры, позволяющих выполнять указанные операции;

f) типичные значения внутреннего шума измерительной цепи, включая преобразователь вибрации, в виде усредненного на заданном интервале времени параметра вибрации для всех частотных коррекций (по крайней мере, для нормальных внешних условий).

G.9 Информация для проведения испытаний средства измерений

Приводят следующую информацию:

a) рекомендации в отношении процедур и методов проведения испытаний, демонстрирующих соответствие требованиям настоящего стандарта или технической документации (для процедур и методов, не рассматриваемых в настоящем стандарте);

b) опорный диапазон измерений и требование к его нижней границе;

c) значение эквивалентного электрического импеданса акселерометра(ов). Рекомендуемые средства для получения входного электрического сигнала, эквивалентного сигналу с акселерометра. Описание устройства формирования электрического сигнала;

d) значение максимального ускорения на входе акселерометра и максимального размаха напряжения входного электрического сигнала;

e) минимальное напряжение питания, позволяющее средству измерений работать в соответствии с требованиями настоящего стандарта;

f) описание ориентации средства измерений при проведении испытаний на воздействие радиочастотных электромагнитных полей;

g) описание режима или режимов работы средства измерений и любых подсоединенных устройств, при которых уровень радиочастотного излучения максимален. Перечень конфигураций средства измерений, для которых уровень радиочастотного излучения будет таким же или меньшим;

h) описание влияния изменения температуры воздуха на коэффициент преобразования измерительной цепи средства измерений.

G.10 Дополнительная информация

В принципе виброметр можно описать как черный ящик с установленными реакциями (или степенями защиты) к определенным внешним воздействиям. Но хорошо составленная техническая документация должна также предоставлять пользователю, а также персоналу, проводящему калибровку и техническое обслуживание, информацию о том, что происходит внутри средства измерений.

Ответы на многие вопросы, возникающие при использовании и обслуживании средства измерений, могут быть получены при наличии общих описаний и диаграмм, показывающих основные функциональные части или блоки средства измерений в целом.

В качестве дополнительной информации рекомендуется также указывать:

a) вид преобразователя вибрации через указание физического принципа его работы;

b) физическую величину, описывающую сигнал с преобразователя вибрации при аналоговой передаче данных по кабелю, или характеристики беспроводной или цифровой передачи данных;

c) последовательность векторного суммирования и расчета среднеквадратичного значения, особенно в случае цифровой обработки сигнала;

d) полосы частот предварительной фильтрации и виды фильтров нижних (для защиты от наложения спектров) и верхних частот;

e) разрядность аналого-цифрового преобразователя и частоту дискретизации сигнала, а в случае последующего сжатия данных (децимации) — разрядность слова и частоту дискретизации после сжатия перед основными преобразованиями;

f) способ обработки сигнала при реализации полосовой фильтрации и частотной коррекции, например:

1) непосредственное преобразование сигнала аналоговыми фильтрами,

2) непосредственное преобразование сигнала цифровыми рекурсивными фильтрами (с бесконечной импульсной характеристикой),

3) непосредственное преобразование сигнала цифровыми трансверсальными фильтрами (с конечной импульсной характеристикой),

4) спектральный анализ в полосах частот постоянной относительной ширины (с указанием типа полосового фильтра и его ширины в виде доли октавы);

5) спектральный анализ с использованием быстрого или дискретного преобразования Фурье (с указанием используемых временных окон, просачивания спектральных составляющих, спектрального разрешения и числа линий в спектре) с последующим:

- обратным преобразованием во временной сигнал после применения частотной коррекции (к амплитудам и фазам спектральных составляющих) или

- суммированием по мощности по всему диапазону частот после применения частотной коррекции (только в отношении амплитуд спектральных составляющих).

Приложение Н
(обязательное)

Требования к фазочастотной характеристике

Н.1 Общая информация

Требования к точности воспроизведения заданной фазочастотной (фазовой) характеристики устанавливают при измерении таких параметров вибрации, как пиковое значение, доза вибрации и максимальное кратковременное среднеквадратичное значение, которые чувствительны к погрешности преобразования фазы сигнала. В настоящем приложении рассмотрены проблемы, которые могут возникнуть из-за отклонений номинальной фазочастотной характеристики средства измерений от заданной при измерении вышеуказанных параметров, а также установлены методы испытаний для оценки этих отклонений.

Примечание — В 5.9 установлены требования к результатам измерений пиковых значений и других параметров вибрации в ответ на последовательность сигнальных посылок с пилообразным заполнением импульса. Данные измерения чувствительны к отклонениям в фазочастотной характеристике функции частотной коррекции, поскольку сигнальная посылка сформирована таким образом, что содержит несколько гармонических составляющих. Это тем не менее не обеспечивает проверки фазочастотной характеристики во всем диапазоне частот.

Если измерительная цепь виброметра, включая преобразователь вибрации, построена таким образом, чтобы соответствовать комплексной функции частотной коррекции, определенной в 5.6, то вероятность появления значительных погрешностей, связанных с отклонением действительной фазовой характеристики, относительно невелика. Для частотной коррекции, реализованной посредством простых аналоговых фильтров, правильные фазовые соотношения обеспечиваются автоматически.

Если средство измерений осуществляет цифровое преобразование сигнала, требуемая точность реализации фазовой характеристики может быть обеспечена применением рекурсивных цифровых фильтров при достаточно высокой частоте выборки. Однако для средств измерений, использующих нерекурсивные (трансверсальные) цифровые фильтры (например, фильтр с нулевым фазовым сдвигом) или осуществляющих частотную коррекцию сигнала посредством частотного анализа (с использованием полосовых фильтров или различных реализаций преобразований Фурье), ошибки в измерении чувствительных к погрешности преобразования фазы параметров сигнала могут быть весьма значительны.

Н.2 Определение и оценка фазочастотной характеристики

Н.2.1 Общие положения

Измерительная цепь средства измерений должна быть реализована таким образом, чтобы удовлетворять формулам (1)—(5). При этом фазовая характеристика определяется формулой

$$\tan(\varphi) = \frac{\mathrm{Im}\left[H(s)\right]}{\mathrm{Re}\left[H(s)\right]}, \qquad (Н.1)$$

где $H(s)$ — передаточная функция по формуле (5).

Значения фазового угла φ приведены в таблицах В.1—В.9.

Действительную фазовую характеристику измерительной цепи необходимо сравнить с номинальной (нормативной). Однако погрешности измерений, связанные с отклонением фазовой характеристики, не имеют простой связи с разностью этих фазовых характеристик. Большое значение имеет то, как эта разность изменяется с изменением частоты. В связи с этим используют такой параметр, как характеристическая фазовая девиация $\Delta\varphi_0$. Его определяют исходя из отклонения действительной фазовой характеристики от номинальной (фазовой погрешности) по формуле

$$\Delta\varphi_0(f) = |\Delta\varphi(f) - f\Delta\varphi'(f)|, \qquad (Н.2)$$

где f — частота;

$\Delta\varphi(f)$ — отклонение фазовой характеристики;

$\Delta\varphi'(f)$ — первая производная отклонения фазовой характеристики по частоте (наклон кривой отклонения фазовой характеристики).

Введение нового параметра объясняется тем, что, если бы допуск был задан на фазовую погрешность $\Delta\varphi(f)$, то для достижения заданной точности измерений параметров вибрации коридор между границами допуска пришлось бы делать очень узким. Задание допуска на параметр $\Delta\varphi_0$ предполагает большую вариативность $\Delta\varphi(f)$ при сохранении той же точности измерений.

Примечание 1 — Если бы допуск был задан на отклонения фазовой характеристики, то при его постоянстве для всего диапазона частот группового времени задержки (т. е. когда отклонение фазовой характеристики пропорционально частоте), этот допуск с большой вероятностью будет превышен, в то время как значения измеряемых

параметров вибрации и характеристическая фазовая девиация остаются неизменными. И наоборот, если групповое время задержки зависит от частоты, это может существенно повлиять на точность измерения таких параметров вибрации, как пиковое ускорение, даже если отклонения фазовой характеристики останутся в пределах допуска.

Для практических целей достаточно определить $\Delta\varphi_0(f)$ для отдельных частот f_n с шагом, предпочтительно, треть октавы. При этом формула (Н.2) может быть заменена следующим приближенным равенством [см. также формулу (6)]:

$$\Delta\varphi_0\left(f_n\right)=\left|\frac{f_{n+1}\,\Delta\varphi\left(f_n\right)-f_n\,\Delta\varphi\left(f_{n+1}\right)}{f_{n+1}-f_n}\right|. \qquad (Н.3)$$

Данная формула позволяет вычислять характеристическую фазовую девиацию $\Delta\varphi_0(f)$ для всех частот f_n, за исключением наивысшей.

Допуски на характеристическую фазовую девиацию заданы в таблице 5 и табулированы в таблицах В.1—В.9.

Вероятная максимальная погрешность измерения пикового значения ΔP_{max}, %, обусловленная отклонением фазовой характеристики, может быть приближенно определена по формуле:

$$\Delta P_{max} \approx \pm\max\{0{,}48\,\sin[\Delta\varphi_0(f_n)]\}\cdot 100. \qquad (Н.4)$$

Для максимально допустимого значения характеристической фазовой девиации 12° максимальная погрешность измерения пикового значения составит приблизительно 10 %.

Примечание 2 — Формула (Н.4) получена расчетным путем и применима только к малым значениям $\Delta\varphi_0$ (менее 30°). Реальная погрешность измерения пикового значения зависит от формы входного сигнала и, как правило, меньше значения ΔP_{max}, которое получено для наихудшего случая сочетания во входном сигнале двух синусоидальных составляющих. Однако если входной сигнал содержит большее число составляющих, то возможны (хотя и маловероятны) такие сочетания, которые дадут значение погрешности, превышающее ΔP_{max}. Поэтому со статистической точки зрения выражение «максимальная погрешность» следует трактовать как квантиль распределения малого уровня. Хотя изначально расчетный метод ориентирован на оценку пикового значения, его можно в качестве первого приближения принять для оценки измерения дозы вибрации.

В настоящем приложении установлены два метода, которые позволяют проверить соответствие характеристической фазовой девиации заданным требованиям: прямой и косвенный. Первый метод предполагает доступность сигнала после выполненной частотной коррекции (в аналоговой цифровой форме) непосредственно перед его преобразованием для получения измеряемого параметра вибрации, что исключает дополнительные фазовые искажения. Если же указанный сигнал недоступен, то рекомендуется обратиться к косвенному методу с использованием двухтонового сигнала.

Н.2.2 Прямой метод

Если доступен сигнал после выполненной частотной коррекции (в аналоговой или цифровой форме) непосредственно перед его преобразованием для получения измеряемой величины (так что последующих фазовых искажений не ожидается), то испытания частотной характеристики средства измерений могут быть проведены методом сравнения по *ГОСТ ISO 16063-21* с использованием эталонного преобразователя с известной (по результатам калибровки) действительной фазовой характеристикой. Фазовая характеристика эталонного преобразователя, в свою очередь, может быть определена в соответствии с *ГОСТ ISO 16063-11* (метод лазерной интерферометрии) или *ГОСТ ISO 16063-12* (метод на основе принципа взаимности).

Н.2.3 Косвенный метод

Н.2.3.1 Условия применения метода

Данный метод, использующий в качестве тестового сигнала сочетание двух синусоид (двухтоновый сигнал), рекомендуется применять, если средство измерений предназначено для определения пиковых значений вибрации, а сигнал после выполнения процедуры частотной коррекции недоступен.

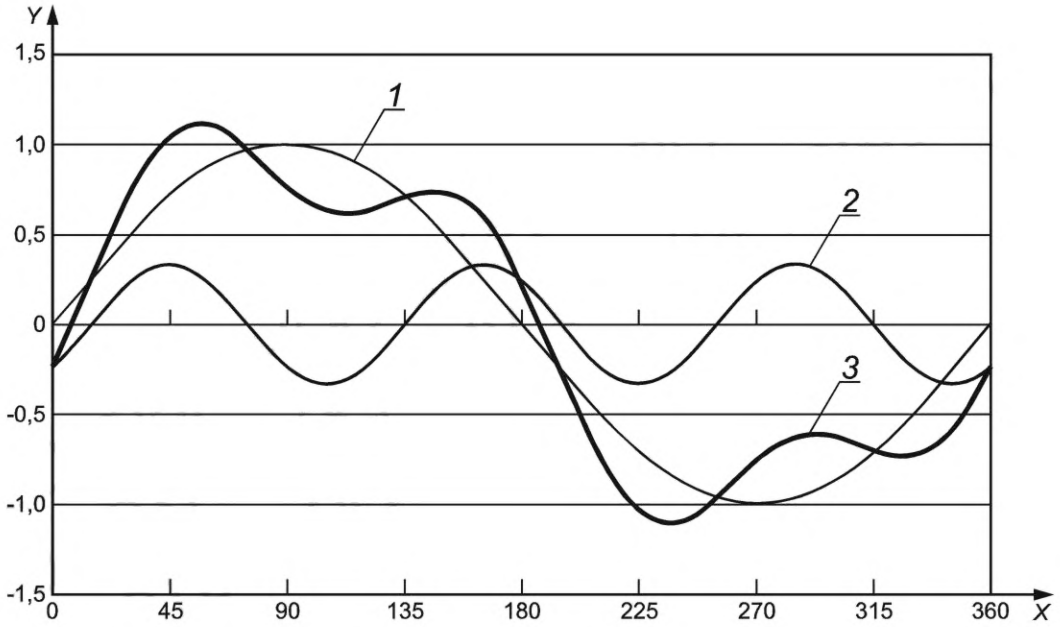
Н.2.3.2 Принцип испытаний с использованием двухтонового тестового сигнала

Двухтоновую вибрацию с параметрами f_{fu}, r_{fu}, φ_{fu} и f_{ha}, r_{ha}, φ_{ha} (где f — частота, r — среднеквадратичное значение, φ — начальная фаза синусоидального сигнала, а подстрочные индексы $_{fu}$ и $_{ha}$ обозначают сигнал основного тона и его гармонику соответственно) воспроизводят и передают на преобразователь вибрации в составе средства измерений с помощью вибростенда. Параметры вибрации f_{fu}, r_{fu}, f_{ha} и r_{ha} задают таким образом, чтобы пиковое значение сигнала было максимально чувствительно к небольшим отклонениям фазовой характеристики измерительной цепи. Это требование выполняется при одновременном соблюдении следующих условий: $f_{fu}/f_{ha} = 3$ и $r_{fu}/r_{ha} = 3$.

При варьировании начальной фазы гармоники φ_{ha} пиковое значение проходит через относительно острый минимум в точке $\varphi_{ha} = 3\varphi_{fu}$, когда «горбы» основного тона и гармоники находятся в противофазе. Эту точку следует найти, используя фазосдвигающее устройство и наблюдая измеренное пиковое значение на показывающем устройстве.

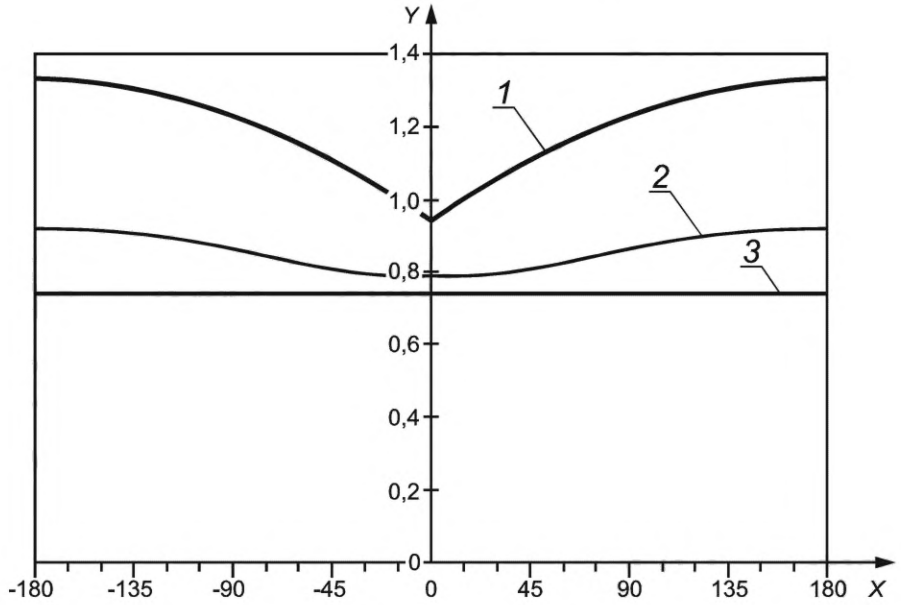
Вблизи этого минимума погрешность определения пикового значения вследствие отклонения фазовой характеристики максимальна и достигает 1,75 %/°. Пиковое значение в точке минимума равно $0{,}943r_{fu}$.

На рисунке Н.1 показаны формы сигналов при $\varphi_{ha} = 15°$ и $\varphi_{fu} = 0°$, а на рисунке Н.2 приведен график зависимости пикового значения от φ_{ha} при $\varphi_{fu} = 0°$.



X — фаза основного тона, град; *Y* — значение сигнала; *1* — основной тон; *2* — гармоника (начальная фаза сдвинута на 15°); *3* — результирующий сигнал

Рисунок Н.1 — Формы сигналов



X — фазовый сдвиг гармоники, град; *Y* — фазовый сдвиг гармоники; *1* — пиковое значение, м/с^2; *2* — доза вибрации, м/с^{1,75}; *3* — среднеквадратичное значение, м/с^2

Рисунок Н.2 — Зависимость пикового значения, дозы вибрации и среднеквадратичного значения от фазового сдвига гармоники

Метод дает также выражение для диапазона изменений погрешности измерения пикового значения вибрации вследствие отклонения фазовой характеристики измерительной цепи для данного тестового сигнала. В случае произвольного тестового сигнала указанная погрешность может быть меньше (те же две синусоиды, но с другим соотношением амплитуд и частот) или больше (сигнал с крутым фронтом или кратковременный импульс).

Н.2.3.3 Испытательное оборудование

Большая часть оборудования, необходимая для проведения испытания с воспроизведением двухтоновой вибрации, — та же, что используют для калибровки частотной характеристики измерительной цепи. В состав испытательного оборудования входят:

a) генератор гармоник (или двухтоновый генератор) с регулируемым соотношением параметров гармоник [по крайней мере, обеспечивающий воспроизведение сигнала основной частоты и его третью гармонику)] или генератор синусоидального сигнала в сочетании с умножителем (делителем) частоты;

b) если генератор не обеспечивает настройку амплитуд и начальных фаз гармоник, то в состав испытательного оборудования дополнительно включают:

- два усилителя с регулируемыми коэффициентами усиления,
- фазовращатель (фазосдвигающий мост, линию задержки);

c) устройство суммирования (суммирующий усилитель), если оно не является составной частью другого используемого в испытаниях оборудования;

d) вибростенд с усилителем мощности;

e) эталонный акселерометр с полученными в результате калибровки действительными характеристиками (амплитудной и фазовой);

f) фазометр, позволяющий измерять сдвиг фаз между гармониками;

g) испытуемое средство измерений.

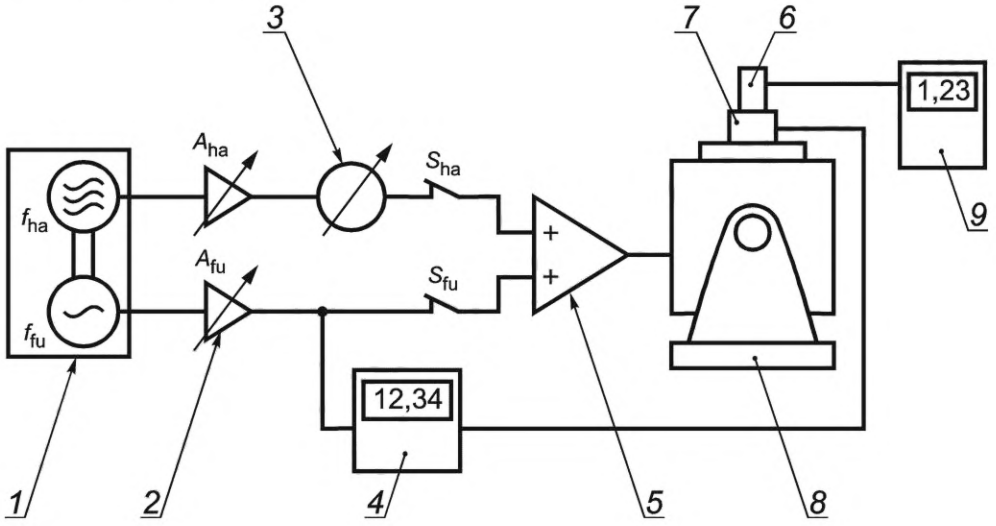
Дополнительно рекомендуется использовать:

h) БПФ-анализатор;

i) осциллограф.

Блок-схема испытательной установки показана на рисунке Н.3.

Для автоматизации процедуры испытаний рекомендуется применять управление испытательным оборудованием от персонального компьютера.



1 — двухканальный генератор сигналов с контролируемым сдвигом фаз; *2* — усилитель с регулируемым коэффициентом усиления; *3* — фазовращатель; *4* — фазометр; *5* — сумматор с усилителем мощности; *6* — преобразователь вибрации; *7* — эталонный акселерометр; *8* — вибростенд; *9* — виброметр

Рисунок Н.3 — Блок-схема испытательной установки

Н.2.3.4 Метод испытаний

Виброметр устанавливают в режим измерений пикового значения корректированного ускорения, после чего выполняют следующую последовательность операций:

a) регулируют частоты сигналов, воспроизводимые генератором, таким образом, чтобы они находились в средней части диапазона частот измерений параметра вибрации (например, для измерений общей вибрации устанавливают f_{fu} = 9 Гц, f_{ha} = 27 Гц);

b) при включенном канале основной частоты S_{fu} и отключенном канале гармоники S_{ha} регулируют коэффициент усиления усилителя A_{fu} таким образом, чтобы результат измерения пикового значения $a_{peak,fu}$ находился в районе приблизительно 60 % диапазона шкалы средства измерений. Считывают показание фазометра (значение φ_{fu});

c) при отключенном канале основной частоты S_{fu} и включенном канале гармоники S_{ha} регулируют коэффициент усиления усилителя A_{ha} таким образом, чтобы измеренное средством измерений пиковое значение составляло одну треть измеренного значения $a_{peak,fu}$, т. е. $a_{peak,ha} = a_{peak,fu}/3$. Настраивают фазовращатель таким образом, чтобы показания фазометра оставались такими же, как и в шаге по перечислению b), с коррекцией на время задержки сигнала от эталонного акселерометра. Тогда фазометр будет показывать величину, определяемую по формуле

$$\varphi_{ha} = \varphi_{fu} - \varphi_{tr,fu} + \varphi_{tr,ha}\frac{f_{ha}}{f_{fu}},$$

где $\varphi_{tr,fu}$ — сдвиг фазы эталонного акселерометра на частоте f_{fu};

$\varphi_{tr,ha}$ — сдвиг фазы эталонного акселерометра на частоте f_{ha};

f_{ha}/f_{fu} — коэффициент преобразования $\varphi_{tr,ha}$.

Такая регулировка позволит обеспечивать равенство начальных фаз основного сигнала и его гармоники при их совместном воспроизведении на вибростоле.

Предполагается, что фазовый сдвиг привязан к фазе основного тона. Поэтому значение $\varphi_{tr,ha}$ должно быть умножено на коэффициент f_{ha}/f_{fu}. Возможен другой вариант, когда делением на $2\pi f$ все фазы преобразуют в запаздывания по фазе и сравнивают их значения. В этом случае фазометр следует настроить так, чтобы он показывал непосредственно значение запаздывания по фазе.

Фазовращатель может влиять на амплитуду сигнала и, наоборот, амплитуда сигнала может влиять на значение сдвига. Поэтому следует убедиться в наличии или отсутствии такого влияния и, при необходимости, выполнить соответствующую регулировку. Небольшие изменения амплитуды не будут оказывать существенных влияний на измерения фазы;

d) при включенных каналах S_{fu} и S_{ha} настраивают фазовращатель таким образом, чтобы показываемое средством измерений пиковое значение ускорения было минимальным.

Это означает, что сигнал основной частоты и его третья гармоника поступили на устройство измерения пикового значения ускорения с равными начальными фазами.

Для проверки этого условия следует считать полученное пиковое значение, которое должно быть равно $0{,}943r_{fu}$. Изменяя настройку фазовращателя, получают максимальное пиковое значение, равное $1{,}333r_{fu}$, на показывающем устройстве. После этого возвращают фазовращатель в состояние, при котором показываемое пиковое значение минимально;

e) при выключенном канале S_{fu} и включенном канале S_{ha} считывают на фазометре значение φ_{ha+}. Рассчитывают дополнительный фазовый сдвиг, внесенный фазовращателем при выполнении шага по перечислению d), по формуле

$$\Delta\varphi = \varphi_{ha+} - \varphi_{ha},$$

где значение φ_{ha} получено на шаге по перечислению c), а значение φ_{ha+} — на шаге по перечислению e).

После этого рассчитывают значение $\Delta\vartheta$ по формуле

$$\Delta\vartheta = \frac{\Delta\varphi}{2\pi f_{fu}}.$$

Эта величина равна разности запаздываний по фазе, вносимых измерительной цепью, на частотах f_{fu} и f_{ha};

f) повторяют шаги по перечислениям b)—e), увеличивая (уменьшая) значения частоты основного тона и гармоники в три раза до тех пор, пока не будет пройден весь частотный диапазон, установленный настоящим стандартом (например, для измерений общей вибрации пары частот основного тона и гармоники будут иметь вид: 1 и 3 Гц; 3 и 9 Гц; 9 и 27 Гц; 27 и 81 Гц);

g) строят последовательность, в которой первый член будет представлять собой значение $\Delta\vartheta$ для основного тона низшей частоты, а каждый последующий (соответствующий более высокому тону) — сумму предыдущего члена и значения $\Delta\vartheta$ для данного тона. Полученная последовательность будет представлять собой выборочные значения непрерывной зависимости запаздывания по фазе от частоты, известные с точностью до некоторой постоянной составляющей (запаздывания по фазе для основного тона низшей частоты);

h) чтобы получить значения зависимости на промежуточных частотах, изменяют значения частот на коэффициент $3^{0,2}$ (соответствует 95 % трети октавы) вверх или вниз и повторяют шаги по перечислениям b)—e);

i) повторяют шаг по перечислению h) четыре раза, каждый раз получая новую последовательность выборочных значений. Объединяют все пять последовательностей выборочных значений в одну общую последовательность. При этом значения аргументов (частот) будут равноудалены друг от друга на логарифмической шкале. Соответствующие задержки по фазе, отложенные по оси ординат (также в логарифмическом масштабе), будут осциллировать относительно некоторой гладкой кривой, что обусловлено разными значениями неизвестного запаздывания по фазе для основного тона низшей частоты для каждой из пяти последовательностей;

j) сглаживают полученные выборочные значения непрерывной кривой, зафиксировав первую точку сформированной общей последовательности [значение запаздывания по фазе для основного тона низшей частоты первой последовательности, полученной в результате выполнения шага по перечислению f)] и подбирая соответствующим образом значения запаздывания по фазе для основных тонов низшей частоты других четырех последовательностей [полученных в результате выполнения шага по перечислению h)], например с помощью рекуррентной процедуры или графическим методом. Тогда экспериментально полученная зависимость запаздывания по фазе от частоты будет определена с точностью до некоторого постоянного слагаемого;

k) исходя из фазовой характеристики для данной функции частотной коррекции, установленной настоящим стандартом, рассчитывают зависимость запаздывания по фазе от частоты. Для этого значения фазы, определен-

ные в соответствующей таблице (В.1—В.9), надо уменьшить на 180°, разделить на 360° и затем разделить на значение частоты в герцах. Вычитание фазового угла 180° (инверсия частот сигнала) представляет собой приведение к основной ветви функции арктангенса (в таблицах В.1—В.9 и в соответствующих им рисунках зависимости фазы функции частотной коррекции от частоты этот угол, наоборот, добавлен) и необходимо для того, чтобы значения запаздывания по фазе от частоты лежали в положительной области.

Примечание — Сдвиг всех частотных составляющих на 180° оставляет форму сигнала неизменной, но существенно изменяет значение характеристической фазовой девиации $\Delta\varphi_0$. В этом нет противоречия, поскольку параметр $\Delta\varphi_0$ введен исключительно с целью оценить допустимость отклонения фазовой характеристики от заданной и не должен являться инвариантом к изменению полярности сигнала. Инверсия — особая форма преобразования сигнала, которая может потребовать применения специальных методов испытаний, например, при измерении параметров вибрации, чувствительных к полярности, таких как максимальное или минимальное значение ускорения или спектр отклика, однако подобные вопросы в настоящем стандарте не рассматриваются;

l) подгоняют экспериментальную зависимость под теоретическую, полученную на шаге по перечислению k), соответствующим выбором постоянной составляющей. Обычно это не составляет труда, поскольку типичная фазовая характеристика, приведенная к логарифмическому масштабу по обеим осям, близка к линейной в широком диапазоне частот. Это справедливо для всех функций частотной коррекции, рассматриваемых настоящим стандартом;

m) преобразовывают полученную после выполнения шага по перечислению l) экспериментальную зависимость запаздывания по фазе обратно в фазовую область, умножая сначала на 360°, а потом на значение частоты, что дает в результате оценку фазовой характеристики данной измерительной цепи средства измерений;

n) по результатам шага по перечислению m) рассчитывают характеристическую фазовую девиацию $\Delta\varphi_0$, как указано в Н.2.1. Критерий на основе $\Delta\varphi_0$ инвариантен по отношению к постоянному значению запаздывания по фазе, поэтому погрешности определения данного параметра не влияют на результаты применения критерия.

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных национальных и межгосударственных стандартов международным стандартам, использованным в качестве ссылочных в примененном международном стандарте

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного национального стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование ссылочного международного стандарта
ГОСТ 30804.4.2—2013	MOD	IEC 61000-4-2:2008 «Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 4-2. Методы испытаний и измерений. Испытания на устойчивость к электростатическим разрядам»
ГОСТ 30804.4.3—2013	MOD	IEC 61000-4-3:2006 «Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 4-3. Методы испытаний и измерений. Испытания на устойчивость к излученному радиочастотному электромагнитному полю»
ГОСТ 30804.6.2—2013	MOD	IEC 61000-6-2:2005 «Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 6-2. Общие стандарты. Помехоустойчивость в промышленных средах»
ГОСТ 30805.22—2013	MOD	CISPR 22:2006 «Оборудование информационных технологий. Характеристики радиопомех. Нормы и методы измерений»
ГОСТ 31191.1—2004	MOD	ISO 2631-1:1997 «Вибрация и удар. Оценка воздействия общей вибрации на человека. Часть 1. Общие требования»
ГОСТ 31191.2—2004	MOD	ISO 2631-2:2003 «Вибрация и удар. Оценка воздействия общей вибрации на человека. Часть 2. Вибрация в зданиях (в диапазоне от 1 до 80 Гц)»
ГОСТ 31191.4—2006	MOD	ISO 2631-4:2001 «Вибрация и удар. Оценка воздействия общей вибрации на человека. Часть 4. Руководство по оценке влияния вибрации и угловых колебаний на комфорт пассажиров и бригады транспортных средств с фиксированными направляющими движения»
ГОСТ 31192.1—2004	MOD	ISO 5349-1:2001 «Вибрация. Измерение локальной вибрации и оценка ее воздействия на человека. Часть 1. Общие требования»
ГОСТ 34100.3—2017	IDT	ISO/IEC Guide 98-3:2008 «Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения»
ГОСТ ИСО 5348—2002	IDT	ISO 5348:1998 «Вибрация и удар. Механическое крепление акселерометров»
ГОСТ ISO 16063-1—2013	IDT	ISO 16063-1:1998 «Методы калибровки датчиков вибрации и удара. Часть 1. Основные положения»
ГОСТ ISO 16063-11—2013	IDT	ISO 16063-11:1999 «Методы калибровки датчиков вибрации и удара. Часть 11. Первичная вибрационная калибровка методами лазерной интерферометрии»
ГОСТ ISO 16063-12—2013	IDT	ISO 16063-12:2002 «Методы калибровки датчиков вибрации и удара. Часть 12. Первичная вибрационная калибровка на основе принципа взаимности»
ГОСТ ISO 16063-21—2013	IDT	ISO 16063-21:2003 «Методы калибровки датчиков вибрации и удара. Часть 21. Вибрационная калибровка сравнением с эталонным преобразователем»
ГОСТ Р 51317.4.6—99	MOD	IEC 61000-4-6:1996 «Электромагнитная совместимость (ЭМС). Часть 4-6. Методы испытаний и измерений. Устойчивость к кондуктивным помехам, наведенным радиочастотными полями»

Примечание — В настоящей таблице использованы следующие условные обозначения степени соответствия стандартов:
- IDT — идентичные стандарты;
- MOD — модифицированные стандарты.

Приложение ДБ
(справочное)

Руководство по оценке инструментальной неопределенности измерения (исключенное приложение I[1)] примененного международного стандарта)

I.1 Общие положения

Настоящее приложение содержит руководство, в соответствии с которым может быть оценена инструментальная составляющая неопределенности при измерении вибрации, воздействующей на человека, с помощью виброметра. Данное руководство применимо только в тех случаях, когда виброметр удовлетворяет соответствующим требованиям настоящего стандарта. Дополнительная информация, необходимая для оценки инструментальной неопределенности измерения, может быть получена из инструкций изготовителя, паспорта виброметра, сертификатов калибровки или на основе опыта или эксперимента (см. [*9*]).

Неопределенность измерения действительных метрологических характеристик средства измерений (калибровки) также вносит вклад в инструментальную неопределенность. В настоящем приложении предполагается, что неопределенность измерения, приведенная в сертификате калибровки, представляет собой расширенную неопределенность при коэффициенте охвата $k = 2$.

После проведения калибровки или регулировки виброметр может показывать результат измерения параметра вибрации опорного сигнала с погрешностью до 5 % (см. таблицу 2). Согласно *ГОСТ 34100.3* данная систематическая погрешность требует внесения поправки в результат измерений или должна быть учтена иным образом. Поскольку на практике непосредственно корректировать результат измерений вибрации затруднительно, в настоящем приложении систематическая погрешность рассматривается как дополнительный источник неопределенности (влияющая величина).

Каждая величина, влияющая на результат измерения, требует, чтобы ей в соответствие была поставлена случайная переменная с соответствующим законом распределения. Для влияющей величины, имеющей некоторый разброс относительно одного из значений, применяют нормальное (гауссово) распределение. Если известно, что случайная величина ограничена некоторыми предельными значениями, то ей приписывают равномерное распределение в этих пределах.

Показываемое виброметром значение параметра вибрации, текущее или усредненное на интервале времени, рассматривается как предмет влияния каждой влияющей величины.

Если измерительная задача требует суммирования вибрации по нескольким измерительным каналам, например в виде полной вибрации, то неопределенности измерений по отдельным каналам также должны быть преобразованы согласно формуле суммирования с учетом соответствующих коэффициентов для разных направлений вибрации.

I.2 Составляющие инструментальной неопределенности

I.2.1 Общие положения

Подлежащая оцениванию неопределенность измерения U представляет собой совокупность неопределенностей u_i влияющих величин, включая систематическую погрешность e_s.

Приводимый ниже перечень влияющих величин следует рассматривать как ориентировочный. Пользователь настоящего руководства должен самостоятельно решить, какие влияющие величины следует принять во внимание, т. е. какие из этих величин вносят существенный вклад в общую инструментальную неопределенность (см. пример в I.3.2). Исключение из рассмотрения существенной влияющей величины приведет к заниженной оценке инструментальной неопределенности.

Поскольку влияние на результат измерения той или иной величины может зависеть от частоты вибрации, целесообразно разделить общий диапазон измерений на поддиапазоны и для каждого из них оценивать инструментальную неопределенность по отдельности.

I.2.2 Погрешность показания на частоте опорного сигнала (коэффициент преобразования S_{ref})

При калибровке виброметра одновременно осуществляют его настройку, изменяя коэффициент преобразования на частоте опорного сигнала S_{ref} таким образом, чтобы отклонение показываемого виброметром значения от параметра вибрации опорного сигнала (см. таблицу 1) составляло 0 %. Однако на практике обычно остается ненулевая систематическая погрешность показаний на опорной частоте e_s, которой приписывают нормальное распределение и включают в расчет общей неопределенности измерения [см. формулу (I.8)].

Считая коэффициент охвата $k = 2$, стандартное отклонение случайной величины, описывающей систематическую погрешность e_s, принимают равным половине расширенной неопределенности, указанной для S_{ref} в сертификате калибровки. При отсутствии данной информации используют максимальное значение из таблицы 2.

Примечание — Неопределенность, связанная с S_{ref}, включает в себя также неопределенность измерения электрического напряжения.

[1)] Для удобства пользования в настоящем приложении сохранена оригинальная нумерация разделов, пунктов, формул и таблиц примененного международного стандарта ИСО 8041-1:2017.

I.2.3 Погрешность показания в пределах диапазона частот измерений K_F

После калибровки на частоте опорного сигнала определяют действительную функцию частотной коррекции средства измерений во всем диапазоне рабочих частот от нижней границы f_1 до верхней границы f_u. Неидеальность частотной характеристики (коэффициента преобразования) акселерометра, электронных устройств на пути передачи сигнала, полосового и весовых фильтров приводит к появлению дополнительной частотно-зависимой случайной погрешности, которую нельзя устранить введением поправки в результат измерения. При расчете вклада неопределенности K_F, связанной с частотной характеристикой средства измерений, влияющую величину рассматривают как относительное частотно-зависимое отклонение от номинального значения частотной характеристики на данной частоте. Этот вклад состоит из двух составляющих — частотно-зависимой случайной погрешности и неопределенности калибровки показания виброметра в рабочем диапазоне частот.

Рекомендуется разделить рабочий диапазон измерений на поддиапазоны, например низкочастотный, среднечастотный и высокочастотный. В каждом из поддиапазонов случайная относительная погрешность предполагается распределенной по равномерному закону между нулем и максимальным значением относительного отклонения частотной характеристики $e_{rel,max}$. Соответственно стандартная неопределенность u_{rel} данной величины будет равна $e_{rel,max} / 2\sqrt{3}$.

Стандартное отклонение $u_{display}$ случайной величины, описывающей неопределенность калибровки показания виброметра в рабочем диапазоне частот, принимают равным половине расширенной неопределенности, указанной в сертификате калибровки. При отсутствии данной информации используют максимальное значение из таблицы 2.

Указанные составляющие формируют общую погрешность показания в диапазоне частот измерений, стандартную неопределенность которой $u(K_F)$ рассчитывают по формуле

$$u(K_F) = \sqrt{u_{rel}^2 + u_{display}^2}. \quad (I.1)$$

I.2.4 Погрешность вследствие нелинейности преобразования вибрации K_L

Погрешность, обусловленная непропорциональностью преобразования вибрации измерительной цепью виброметра, объединяет в себе две составляющие, каждой из которых приписано равномерное распределение. Первая составляющая обусловлена зависимостью коэффициента преобразования измерительной цепи от значения параметра вибрации, вторая представляет собой влияние неидеальной работы электронных элементов цепи, включая дискретность аналого-цифрового преобразования.

Соответствующую стандартную неопределенность для первой составляющей u_1 рассчитывают по формуле

$$u_1 = \frac{k_L}{a_{FSO}} b / \sqrt{3}, \quad (I.2)$$

где a_{FSO} — максимальное ускорение, воспринимаемое и передаваемое акселерометром;

k_L — отклонение от линейности, обычно определяемое из паспорта на виброметр в виде процентного отношения к максимальному значению шкалы;

b — ширина интервала изменения ускорения.

Согласно 5.7 отклонение от линейности должно быть определено в динамическом диапазоне не менее 40 дБ. Исходя из этого и принимая во внимание значение a_{ref} опорного сигнала вибрации, можно оценить верхнюю b_+ и нижнюю b_- границы интервала изменения ускорения:

локальная вибрация: a_{ref} = 10 м/с^2; b_- = 1 м/с^2; b_+ = 100 м/с^2; b = 99 м/с^2;

общая вибрация: a_{ref} = 1 м/с^2; b_- = 0,1 м/с^2; b_+ = 10 м/с^2; b = 9,9 м/с^2;

общая низкочастотная вибрация: a_{ref} = 0,1 м/с^2; b_- = 0,01 м/с^2; b_+ = 1 м/с^2; b = 0,99 м/с^2.

Стандартную неопределенность для второй составляющей u_2 определяют аналогичным образом. Если изготовителем виброметра никакой информации об этой составляющей не представлено, то исходя из опыта принимают u_2 = 0,0025.

Суммарную стандартную неопределенность $u(K_L)$, связанную с нелинейностью преобразования вибрации, рассчитывают по формуле

$$u(K_L) = \sqrt{u_1^2 + u_2^2}. \quad (I.3)$$

I.2.5 Влияние вибрации в поперечном направлении K_C

Информацию о коэффициенте поперечного преобразования q, %, можно получить из паспорта на преобразователь вибрации.

На практике следует предположить, что уровень вибрации в поперечном направлении находится в диапазоне от нуля до максимального из тех, что может быть измерен с применением трехкоординатного преобразователя вибрации. Для расчета неопределенности, связанной с вибрацией в поперечном направлении, принято, что ускорение $a_{transverse}$ составляет 50 % измеряемого ускорения a_{normal}. Данную неопределенность описывают случайной величиной с равномерным распределением.

Стандартную неопределенность $u(K_C)$, связанную с вибрацией в поперечном направлении, рассчитывают по формуле

$$u(K_C) = \frac{a_{transverse}}{a_{normal}} q \Big/ \left(2\sqrt{3}\right). \quad (I.4)$$

I.2.6 Влияние собственного шума измерительной цепи K_H

Собственный электрический шум измерительной цепи может быть измерен в условиях, когда вибрационное воздействие на преобразователь вибрации практически отсутствует. Соответствующей случайной величине приписывают равномерное распределение. Из результатов экспериментов следует, что вклад данной влияющей величины в суммарную инструментальную неопределенность измерения составляет около 0,1 %.

I.2.7 Влияние температуры окружающего воздуха K_T

Согласно 7.2 применение виброметра для измерений вибрации, воздействующей на человека, допускается в диапазоне температур от минус 10 °С до 50 °С. При таком широком разбросе возможных значений температуры окружающего воздуха связанная с ним составляющая неопределенности может быть весьма велика. Поэтому рекомендуется выполнять оценку неопределенности для разных условий применения: стандартных (23 ± 10) °С (которые наблюдаются, например, в условиях лаборатории) и экстремальных (23 ± 30) °С (которые могут наблюдаться, например, при измерении вибрации на рабочем месте). Практический опыт показывает, что изменение температуры оказывает влияние только на работу преобразователя вибрации, в то время как его влияние на работу электронных устройств виброметра незначительно.

Изготовители указывают, как характеристики акселерометра изменяются с изменением температуры воздуха, либо графически, либо в табличном виде. Эту информацию следует преобразовать с учетом знака таким образом, чтобы получить значение температурного коэффициента K_T, %/К. Для соответствующей случайной переменной принимают равномерное распределение на интервале разброса температур относительно нормального значения 23 °С, полуширина которого равна ϑ.

Стандартную неопределенность $u(K_T)$, связанную с влиянием температуры окружающего воздуха, рассчитывают по формуле

$$u(K_T) = \vartheta K_T \Big/ \sqrt{3}. \quad (I.5)$$

I.2.8 Влияние магнитного поля сетевой частоты K_M

Если виброметр применяют в условиях действия сильного переменного магнитного поля, то такое поле может вызвать появление дополнительного сигнала на выходе преобразователя вибрации. Для расчета неопределенности, связанной с воздействием магнитного поля с индукцией B, необходима информация о чувствительности коэффициента преобразования акселерометра к магнитному полю K_M, %/мТл, которую можно найти в паспорте на акселерометр. Для соответствующей случайной переменной принимают равномерное распределение на интервале шириной B.

Стандартную неопределенность $u(K_M)$, связанную с влиянием магнитного поля, рассчитывают по формуле

$$u(K_M) = B K_M \Big/ \left(2\sqrt{3}\right). \quad (I.6)$$

I.2.9 Стабильность коэффициента преобразования S_{ST}

Опыт показывает, что из всех элементов измерительной цепи следует принимать во внимание только изменение со временем характеристик акселерометра (характеристики электронных устройств со временем изменяются незначительно). Соответствующей случайной величине приписывают равномерное распределение на интервале, полуширина которого I равна межповерочному (межкалибровочному) интервалу (например, I = 2 года). Стабильность характеристик акселерометра описывается относительным изменением коэффициента преобразования S_{ST}, %/год.

Стандартную неопределенность $u(S_{ST})$, связанную с нестабильностью характеристик акселерометра, рассчитывают по формуле

$$u(S_{ST}) = I S_{ST} \Big/ \sqrt{3}. \quad (I.7)$$

I.3 Расчет инструментальной неопределенности измерения

I.3.1 Общие положения

Инструментальную неопределенность измерения определяют через расширенную неопределенность U, которую рассчитывают на основе стандартных неопределенностей входных (влияющих) величин u_i и систематической погрешности e_s по формуле

$$U = k \sqrt{\sum_i u_i^2} + e_s, \quad (I.8)$$

где k — коэффициент охвата, который обычно принимают равным двум.

I.3.2 Пример для измерения локальной вибрации

Предполагается, что влияющие величины, вносящие вклад в инструментальную неопределенность (см. I.2.2—I.2.9), идентифицированы и количественно определены (см. таблицу I.2). Данные таблицы I.2 основаны на следующих сведениях и допущениях.

Систематическая погрешность e_S показания виброметра на частоте опорного сигнала 79,58 Гц равна половине неопределенности регулировки коэффициента преобразования на этой частоте и взята из сертификата калибровки, где для нее приведено значение 0,5 % при коэффициенте охвата $k = 2$.

Стандартная неопределенность $u(K_F)$ для частотной характеристики в пределах рабочего диапазона измерений виброметра приведена для трех частотных поддиапазонов. При калибровке получены следующие данные для отклонения действительной частотной характеристики (после ее подстройки на частоте опорного сигнала 79,58 Гц) от номинальной функции частотной коррекции для ряда частот: $e_{rel,8Гц} = –8,5$ %; $e_{rel,10Гц} = –4,4$ %; $e_{rel,16Гц} = –0,6$ %; $e_{rel,31,5Гц} = –0,2$ %; $e_{rel,80Гц} = 0$ %; $e_{rel,125Гц} = 0,1$ %; $e_{rel,251Гц} = 0,1$ %; $e_{rel,500Гц} = 0,1$ %; $e_{rel,603Гц} = 0,1$ %; $e_{rel,800Гц} = 0,2$ %; $e_{rel,1КГц} = 0,3$ %; $e_{rel,1,6кГц} = 4,5$ %; $e_{rel,2кГц} = 8,5$ %.

Полученные данные позволяют разбить рабочий диапазон на три поддиапазона, в пределах каждого из которых отклонения будут одного порядка (см. таблицу I.1).

Таблица I.1 — Неопределенность для частотной характеристики по трем поддиапазонам

Поддиапазон частот	Предельное отклонение (по абсолютному значению)	Стандартная неопределенность u_{rel}
От 8 до 16 Гц	8,5 %	$0,085/\left(2\sqrt{3}\right) = 0,0245$
Св. 16 до 800 Гц	0,2 %	$0,002/\left(2\sqrt{3}\right) = 0,00058$
Св. 800 Гц до 2 кГц	8,5 %	$0,085/\left(2\sqrt{3}\right) = 0,0245$

Кроме того, в сертификате калибровки приведены следующие расширенные неопределенности ($k = 2$), связанные с показаниями виброметра в указанных поддиапазонах частот:

от 8 до 16 Гц: 1,0 %;
свыше 16 до 800 Гц: 0,5 %;
свыше 800 Гц до 2 кГц: 1,0 %.

Стандартные неопределенности $u_{display}$ для этих поддиапазонов равны половине указанных значений.

Стандартную неопределенность $u(K_F)$, связанную с отклонением действительной частотной характеристики от номинальной, рассчитывают по формуле (I.1) для каждого из трех поддиапазонов отдельно.

Из паспорта на акселерометр следует, что в диапазоне измерений локальной вибрации значение K_L составляет 1 % при максимальном значении шкалы 50 м/с^2. Соответствующую стандартную неопределенность u_1 рассчитывают по формуле (I.2).

Составляющая, обусловленная неидеальностью преобразования электронными устройствами виброметра, оценена как $u_2 = 0,0025$. Ее суммируют со стандартной неопределенностью u_1 по формуле (I.3) для получения стандартной неопределенности $u(K_L)$, связанной с нелинейностью преобразования средством измерений сигнала вибрации.

Коэффициент преобразования вибрации в поперечном направлении $q = 3$ %, а уровень вибрации в поперечном направлении принят равным 50 % уровня вибрации в направлении измерений. Стандартную неопределенность $u(K_C)$, связанную с влиянием вибрации в поперечном направлении, рассчитывают по формуле (I.4).

В отношении собственного электрического шума измерительной цепи на основе эмпирических данных сделано предположение, что он составляет 0,1 %.

Температурный коэффициент акселерометра $K_T = 0,025$ %/К. Расчет сделан для двух температурных диапазонов применения средства измерений: «обычного» (23 ± 10) °С и «экстремального» (23 ± 30) °С. Соответственно по формуле (I.5) определены две стандартные неопределенности $u(K_T)$, связанные с влиянием температуры окружающего воздуха.

Чувствительность акселерометра к магнитному полю $K_M = 0,1$ %/мТл, а индукция магнитного поля B принята равной 10 мТл. Стандартная неопределенность $u(K_M)$, связанная с влиянием магнитного поля, рассчитана по формуле (I.6).

Изменение коэффициента преобразования акселерометра со временем составляет 0,05 %/год при межкалибровочном интервале 2 года. Стандартная неопределенность $u(S_{ST})$, связанная с нестабильностью характеристик акселерометра, рассчитана по формуле (I.7).

Данные, сведенные в таблицу I.2, могут быть использованы для расчета инструментальной неопределенности для разных диапазонов измерений по частоте и температуре. Далее предполагается, что в нормальных условиях измерений вибрации в поперечном направлении и магнитные поля отсутствуют (соответствующие вклады $u_i = 0$). Полученные при таких предположениях по формуле (I.8) значения расширенной неопределенности U при $k = 2$ приведены в таблице I.3.

Таблица I.2 — Влияющие величины при измерении локальной вибрации

Влияющая величина	Величина, используемая при расчете инструментальной неопределенности	Приписанное распределение	Составляющие неопределенности u_i	
			Частота (диапазон частот), Гц	Значение
Коэффициент преобразования (систематическая погрешность)	e_S	Нормальное	79,58	0,0025
Частотная характеристика K_F	$u(K_F)$	Равномерное	От 8 до 16 Гц Св. 16 до 800 Гц Св. 800 Гц до 2 кГц	0,025 0,0026 0,025
Нелинейность преобразования K_L	$u(K_L)$	Равномерное	От 8 Гц до 2 кГц	0,0025
Влияние поперечной вибрации K_C	$u(K_C)$	Равномерное	От 8 Гц до 2 кГц	0,0043
Собственный шум измерительной цепи K_H	$u(K_H)$	Равномерное	От 8 Гц до 2 кГц	0,001
Влияние температуры окружающего воздуха K_T	$u(K_T)$	Равномерное	От 8 Гц до 2 кГц (обычные условия) От 8 Гц до 2 кГц (экстремальные условия)	0,0014 0,0043
Влияние магнитного поля K_M	$u(K_M)$	Равномерное	От 8 Гц до 2 кГц	0,0029
Нестабильность характеристик акселерометра S_{ST}	$u(S_{ST})$	Равномерное	От 8 Гц до 2 кГц	0,00058

Таблица I.3 — Инструментальная неопределенность U

Диапазон частот, Гц	Нормальные условия		Экстремальные условия	
	U	U, %	U	U, %
От 8 до 16 Гц	0,0526	5,26	0,0543	5,43
Св. 16 до 800 Гц	0,0114	1,14	0,0182	1,82
Св. 800 Гц до 2 кГц	0,0526	5,26	0,0543	5,43

Библиография

[*1*] ИСО 2041 Вибрация, удар и контроль состояния. Словарь (Vibration, shock and condition monitoring. Vocabulary)

Примечание — Рекомендуется применять гармонизированный стандарт ГОСТ Р ИСО 2041—2012 «Вибрация, удар и контроль технического состояния. Термины и определения».

[*2*] Руководство ИСО/МЭК 99 Международный словарь по метрологии. Основные и общие понятия и соответствующие термины [International vocabulary of metrology. Basic and general concepts and associated terms]

[*3*] ИСО 1683 Акустика. Предпочтительные опорные значения для уровней акустических и вибрационных характеристик (Acoustics. Preferred reference values for acoustical and vibratory levels)

[4] CISPR 16-1-1 Требования к аппаратуре для измерения радиопомех и помехоустойчивости и методы измерений. Часть 1-1. Аппаратура для измерения радиопомехи помехоустойчивости. Измерительная аппаратура (Specification for radio disturbance and immunity measuring apparatus and methods. Part 1-1. Radio disturbance and immunity measuring apparatus. Measuring apparatus)

Примечание — Рекомендуется применять гармонизированный стандарт ГОСТ 30805.16.1.1-2013 (CISPR 16-1-1:2006) «Совместимость технических средств электромагнитная. Требования к аппаратуре для измерения параметров индустриальных радиопомех и помехоустойчивости и методы измерений. Часть 1-1. Аппаратура для измерения параметров индустриальных радиопомех и помехоустойчивости. Приборы для измерения индустриальных радиопомех».

[*5*] МЭК 60529 Степени защиты, обеспечиваемые оболочками (Код IP) [Degrees of protection provided by enclosures (IP code)]

Примечание — Рекомендуется применять гармонизированный стандарт ГОСТ 14254—2015 (IEC 60529:2013) «Степени защиты, обеспечиваемые оболочками».

[*6*] МЭК 61260-1 Электроакустика. Фильтры октавные и на доли октавы. Технические требования (Electroacoustics. Octave-band and fractional-octave-band filters. Part 1. Specifications)

Примечание — Рекомендуется применять гармонизированный стандарт ГОСТ Р 8.714—2010 (IEC 61260:1995) «Государственная система обеспечения единства измерений (ГСИ). Фильтры полосовые октавные и на доли октавы. Технические требования и методы испытаний».

[*7*] Parks T.W., Burns C.S. Digital filter design. John Wiley & Sons, New York, 1987

[*8*] ИСО 10326-1 Вибрация. Лабораторный метод оценки вибрации сидений транспортных средств (Mechanical vibration. Laboratory method for evaluating vehicle seat vibration. Part 1. Basic requirements)

Примечание — Рекомендуется применять гармонизированный стандарт ГОСТ ИСО 10326-1—2002 «Вибрация. Оценка вибрации сидений транспортных средств по результатам лабораторных испытаний. Часть 1. Общие требования».

[*9*] Autorenkollektiv. Kompendium der Schwingungskalibrierung. Eigenverlag SPEKTRA Schwingungstechnik und Akustik GmbH, Dresden, 2013

УДК 534.322.3.08:006.354 ОКС 13.160 MOD

Ключевые слова: вибрация общая, вибрация локальная, средства измерений, виброметр, преобразователь, калибратор, испытания, неопределенность калибровки, инструментальная неопределенность

Редактор *Л.С. Зимилова*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *Л.С. Лысенко*
Компьютерная верстка *Е.О. Асташина*

Сдано в набор 08.08.2022. Подписано в печать 19.08.2022. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 11,16. Уч.-изд. л. 10,09.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «РСТ»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru