МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СОВЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ
(МГС)
INTERSTATE COUNCIL FOR STANDARDIZATION, METROLOGY AND CERTIFICATION
(ISC)

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

ГОСТ ISO 5348— 2024

Вибрация и удар

МЕХАНИЧЕСКОЕ КРЕПЛЕНИЕ АКСЕЛЕРОМЕТРОВ

(ISO 5348:2021, IDT)

Издание официальное

Москва
Российский институт стандартизации
2024

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

Цели, основные принципы и общие правила проведения работ по межгосударственной стандартизации установлены ГОСТ 1.0 «Межгосударственная система стандартизации. Основные положения» и ГОСТ 1.2 «Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Правила разработки, принятия, обновления и отмены»

Сведения о стандарте

1 ПОДГОТОВЛЕН Обществом с ограниченной ответственностью «Электронные технологии и метрологические системы» (ООО «ЭТМС») 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 5

2 ВНЕСЕН Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии

3 ПРИНЯТ Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 31 октября 2024 г. № 178-П)

За принятие проголосовали:

Краткое наименование страны по МК (ИСО 3166) 004—97	Код страны по МК (ИСО 3166) 004—97	Сокращенное наименование национального органа по стандартизации
Армения	AM	ЗАО «Национальный орган по стандартизации и метрологии» Республики Армения
Азербайджан	AZ	Азстандарт
Беларусь	BY	Госстандарт Республики Беларусь
Киргизия	KG	Кыргызстандарт
Россия	RU	Росстандарт
Узбекистан	UZ	Узбекское агентство по техническому регулированию

4 Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 16 декабря 2024 г. № 1904-ст межгосударственный стандарт ГОСТ ISO 5348—2024 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 декабря 2025 г.

5 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту ISO 5348:2021 «Вибрация и удар. Механическое крепление акселерометров» (Mechanical vibration and shock — Mechanical mounting of accelerometers, IDT).

Международный стандарт разработан Техническим комитетом ТС 108 «Вибрация, удар и контроль состояния» Международной организации по стандартизации (ISO).

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

6 ВЗАМЕН ГОСТ ИСО 5348—2002

Информация о введении в действие (прекращении действия) настоящего стандарта и изменений к нему на территории указанных выше государств публикуется в указателях национальных стандартов, издаваемых в этих государствах, а также в сети Интернет на сайтах соответствующих национальных органов по стандартизации.

В случае пересмотра, изменения или отмены настоящего стандарта соответствующая информация будет опубликована на официальном интернет-сайте Межгосударственного совета по стандартизации, метрологии и сертификации в каталоге «Межгосударственные стандарты»

© ISO, 2021
© Оформление. ФГБУ «Институт стандартизации», 2024



В Российской Федерации 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 и определения 1
4 Физические принципы измерения вибрации акселерометром 2
5 Характеристики, указываемые изготовителем акселерометра 3
6 Выбор способа крепления 4
6.1 Общие правила и требования 4
6.2 Факторы, влияющие на выбор способа крепления 4
6.3 Определение резонансной частоты установленного акселерометра 5
6.4 Рекомендации в отношении разных способов крепления 7
7 Типичные частотные характеристики акселерометра для разных способов крепления 14
8 Частные вопросы, связанные с креплением акселерометров 17
8.1 Чувствительность к деформации основания 17
8.2 Температурные эффекты 17
8.3 Земляные петли 18
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов межгосударственным стандартам 19
Библиография 20

Введение

Электромеханические преобразователи вибрации — наиболее широко применяемые средства измерений вибрации разных физических объектов (конструкций) — разделяют на два основных класса: преобразователи бесконтактного типа и инерционные преобразователи.

Преобразователи бесконтактного типа позволяют измерить движение вибрирующей поверхности относительно неподвижной системы координат. Типичными примерами являются вихретоковые датчики, оптические сенсоры и лазерные виброметры. Как следует из самого названия класса, относящиеся к нему преобразователи не имеют прямой механической связи с вибрирующей поверхностью и поэтому в настоящем стандарте не рассматриваются.

Инерционные преобразователи, напротив, устанавливают на самой вибрирующей поверхности через механическое соединение. Данный класс преобразователей включает в себя, в том числе, пьезоэлектрические, пьезорезистивные и емкостные акселерометры, а также велосиметры. Они измеряют абсолютное движение поверхности в системе координат, связанной с этой поверхностью. При этом сам преобразователь и способ его крепления влияют на соотношение частотных составляющих в выходном сигнале. Неправильная установка преобразователя способна существенно исказить сигнал вибрации, особенно в его высокочастотной области.

В ряде случаев характеристики преобразователя (масса, геометрические размеры, жесткость крепления) способны повлиять на уровень измеряемой вибрации, особенно если масса преобразователя сопоставима с эффективной массой поверхности в точке его установки.

Настоящий стандарт распространяется на инерционные акселерометры и велосиметры общего назначения. Особенностью применения таких преобразователей является то, что механическая связь между преобразователем и конструкцией, на которую он установлен, может оказать существенное влияние на отклик конструкции, на выходной сигнал преобразователя или на то и другое вместе. Настоящий стандарт акцентирует внимание на факторах, которые следует принимать в расчет при выборе способа крепления преобразователя к конструкции.

Во многих (но не во всех) аспектах характеристики, принимаемые во внимание в отношении крепления акселерометра и велосиметра, аналогичны (см. 6.2.1).

Настоящий стандарт не распространяется на крепление геофонов.

М Е Ж Г О С У Д А Р С Т В Е Н Н Ы Й С Т А Н Д А Р Т

Вибрация и удар

МЕХАНИЧЕСКОЕ КРЕПЛЕНИЕ АКСЕЛЕРОМЕТРОВ

Mechanical vibration and shock.
Mechanical mounting of accelerometers

Дата введения — 2025—12—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает руководство по креплению на поверхности, вибрация которой подлежит измерению, преобразователя вибрации инерционного типа с учетом характеристик разных способов крепления. Приведенные примеры демонстрируют влияние крепления на выходной сигнал преобразователя, а также влияние других факторов на точность воспроизведения вибрации поверхности выходным сигналом преобразователя.

Преобразователи, на которые распространяется настоящий стандарт (далее — акселерометры), включают в себя акселерометры общего назначения, однокомпонентные или трехкомпонентные, а также велосиметры.

Настоящий документ позволяет пользователю оценить возможные искажения в сигнале вибрации, связанные с использованным способом крепления акселерометра.

Настоящий стандарт не содержит рекомендаций в отношении других факторов, вызывающих искажение сигнала вибрации, таких как вибрация поверхности в поперечном направлении, отклонение оси чувствительности акселерометра от заданного направления измерений, движения сигнального кабеля, изменения температуры поверхности и окружающего воздуха, воздействие электрических и магнитных полей, момент затяжки акселерометра.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты [для датированных ссылок применяют только указанное издание ссылочного стандарта, для недатированных — последнее издание (включая все изменения)]:

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

ISO 8042, Shock and vibration measurements — Characteristics to be specified for seismic pick-ups (Измерения вибрации и удара. Характеристики, устанавливаемые для датчиков инерционного типа)

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ISO 2041.

ИСО и МЭК ведут терминологические базы данных для использования в стандартизации по следующим адресам:

- платформа онлайн-просмотра ИСО: доступна на gost.e-ecolog.ru ;
- Электропедия МЭК: доступна на gost.e-ecolog.ru .

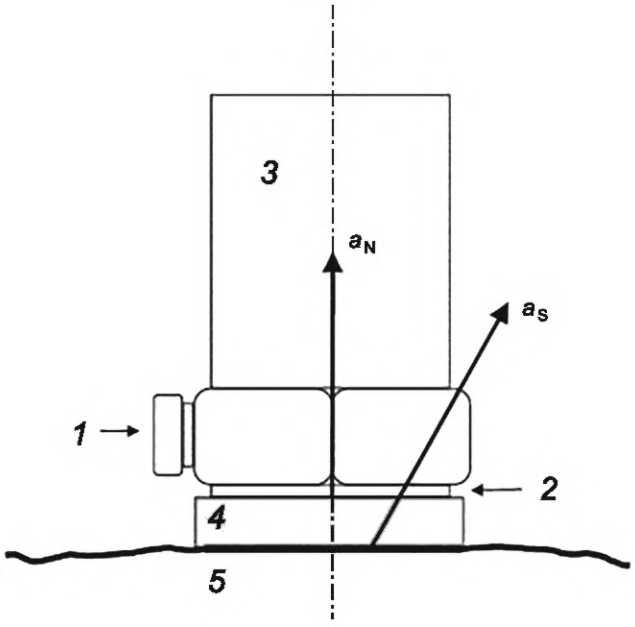
Издание официальное

4 Физические принципы измерения вибрации акселерометром

Акселерометр устанавливают на поверхности конструкции, как показано на рисунке 1. В идеале электрический сигнал на выходе акселерометра должен быть пропорционален ускорению на его входе a_N. Вектор a_N перпендикулярен поверхности, на которую установлен акселерометр, и представляет собой проекцию вектора ускорения a_S поверхности на номинальную ось чувствительности акселерометра.

Устройство крепления акселерометра осуществляет частотно-зависимое преобразование вибрации поверхности конструкции в вибрацию установочной поверхности акселерометра, которое зависит от жесткости, коэффициента демпфирования и массы системы «крепление — акселерометр». Таким образом, от свойств устройства крепления зависит рабочий диапазон частот акселерометра, в котором преобразование амплитуды и фазы частотной составляющей ускорения осуществляется с заданной точностью (см. 6.2.1).

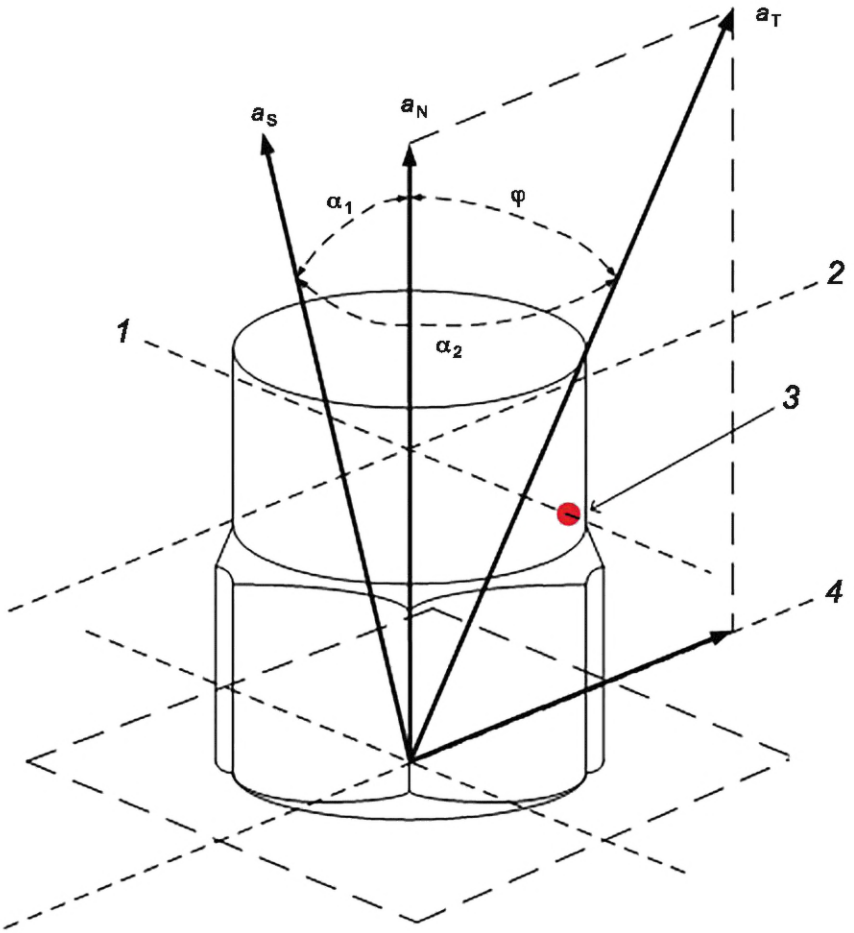
Зачастую направление максимальной чувствительности акселерометра не совпадает с его номинальной осью чувствительности, что приводит к появлению ненулевого коэффициента преобразования в поперечном направлении (см. [11]). Значение этого коэффициента максимально в одном направлении в плоскости установки акселерометра и теоретически равно нулю в перпендикулярном к нему направлении. Некоторые изготовители акселерометров маркируют направление, в котором коэффициент поперечного преобразования минимален, красной точкой. Если акселерометр ориентирован таким образом, что вектор a_S лежит в плоскости, образованной осью номинальной чувствительности и указанной красной отметкой, то влияние вибрации в поперечном направлении на выходной сигнал акселерометра будет незначительным.



a_N — вектор ускорения в направлении номинальной оси чувствительности; a_S — вектор ускорения поверхности конструкции в точке измерения; *1* — электрический выход акселерометра; *2* — установочная поверхность акселерометра; *3* — акселерометр; *4* — устройство крепления; *5* — вибрирующая поверхность конструкции

Рисунок 1 — Крепление акселерометра

На рисунке 2 показаны вектор ускорения вибрации поверхности конструкции a_S, вектор ускорения вдоль номинальной оси чувствительности акселерометра a_N, вектор ускорения в направлении максимальной чувствительности a_T и углы φ, α_1 и α_2 между ними. Выходной сигнал акселерометра u пропорционален a_T, т. е. проекции a_S на направление максимальной чувствительности акселерометра, в то время как измеряемой величиной является a_N.



a_N — вектор ускорения в направлении номинальной оси чувствительности; a_S — вектор ускорения поверхности конструкции в точке измерения; a_T — вектор ускорения в направлении максимальной чувствительности акселерометра; φ — угол между a_N и a_T; α_1 — угол между a_N и a_S; α_2 — угол между a_S и a_T; *1* — направление минимальной чувствительности к поперечной вибрации; *2* — направление максимальной чувствительности к поперечной вибрации; *3* — красная точка, отмечающая направление минимальной чувствительности к поперечной вибрации; *4* — вектор ускорения поперечной вибрации

Примечание — Измерение вибрации поверхности конструкции будет наиболее точным при совпадении векторов и (см. 6.1.1).

Рисунок 2 — Соотношения между векторами ускорения

5 Характеристики, указываемые изготовителем акселерометра

Изготовитель указывает в техническом паспорте или руководстве по применению характеристики акселерометра согласно ISO 8042, из которых для определения условий крепления акселерометра важны следующие:

a) коэффициент преобразования при заданных условиях крепления, динамический диапазон и предпочтительный способ установки;

b) требования к поверхности установки (размеры установочной площадки, возможные варианты установки, глубина резьбового отверстия и размер резьбы, угол высверливания отверстия, материал, класс чистоты обработки и плоскостность поверхности);

c) рекомендуемый и максимально допустимый моменты затяжки;

d) геометрические характеристики акселерометра, включая:
- положение центра тяжести акселерометра в сборе,
- положение центра тяжести инерционной массы;
e) характеристики механической конструкции акселерометра, в том числе:
- общая масса акселерометра,
- материал установочной поверхности,
- максимальный коэффициент преобразования в поперечном направлении с указанием частоты, для которой это значение получено;
f) первая резонансная частота установленного акселерометра;
g) диапазон температур применения акселерометра с устройством крепления.

6 Выбор способа крепления

6.1 Общие правила и требования

6.1.1 Общие правила

Установка акселерометра будет соответствовать его назначению только при соблюдении следующих правил:

a) выходной сигнал акселерометра воспроизводит, насколько это возможно, вибрацию конструкции в месте его установки;

b) установка акселерометра не изменяет, насколько это возможно, вибрацию конструкции (например, вследствие нагружения конструкции массой акселерометра или увеличения локальной жесткости конструкции в месте установки).

6.1.2 Общие требования

Соблюдение общих правил, указанных в 6.1.1, ведет к необходимости выполнения следующих требований:

a) акселерометр и его крепление должны быть максимально жесткими и твердыми, а поверхность, на которую устанавливают акселерометр,— максимально чистой и плоской;

b) само крепление должно вносить минимальные искажения в движение конструкции, для чего рекомендуется использование симметричных креплений;

c) масса акселерометра вместе с устройством крепления должна быть мала в сравнении с эффективной массой конструкции в точке измерения вибрации (см. [1]).

6.2 Факторы, влияющие на выбор способа крепления

6.2.1 Рабочий диапазон частот

Рабочий диапазон частот акселерометра должен находиться много ниже частоты его основного резонанса. Если пользователь использует способ крепления, предложенный изготовителем, то в случае недемпфированного акселерометра, у которого добротность резонансной кривой превышает 30 дБ, погрешность воспроизведения отклика конструкции не будет, как правило, превышать следующих значений в зависимости от верхней границы диапазона частот измерений:

- 5 % в диапазоне частот вплоть до 20 % частоты резонанса;
- 10 % в диапазоне вплоть до 30 % частоты резонанса;
- 3 дБ в диапазоне вплоть до 50 % частоты резонанса.

Примечание 1 — В ряде случаев (например, при контроле состояния подшипников качения) измерения проводят на резонансной частоте установленного акселерометра.

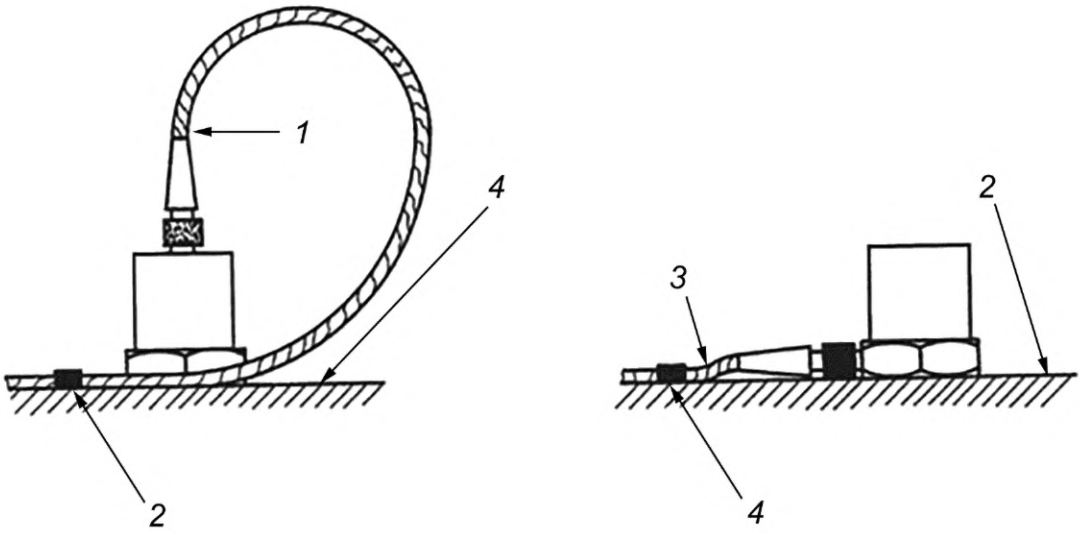
Примечание 2 — При измерении одиночных ударных импульсов можно ожидать, что погрешность не превысит нескольких процентов, если резонансная частота установленного акселерометра в десять раз превышает величину, обратную длительности импульса.

Примечание 3 — Область измерений электродинамических велосиметров обычно лежит выше резонансной частоты.

6.2.2 Сигнальный кабель

Искажения в сигнале вибрации могут быть связаны с движениями кабеля относительно акселерометра, особенно в случае кабеля с большой изгибной жесткостью. Правильная прокладка и фиксация кабеля (см. рисунок 3) позволяет уменьшить влияние этого эффекта.

В случае применения пьезоэлектрического акселерометра с зарядовым выходом свободно висящий кабель может привести к появлению трибоэлектрического эффекта. Такой способ крепления кабеля способен также исказить динамический отклик акселерометра, сделав его несоответствующим вибрации поверхности, на которой установлен акселерометр.



a) Осевое соединение кабеля

b) Радиальное соединение кабеля

1 — ввод кабеля (не создающий механических напряжений); *2* — вибрирующая поверхность; *3* — ввод кабеля (не создающий механических напряжений); *4* — фиксация кабеля на поверхности

Рисунок 3 — Акселерометры с осевым и радиальным соединениями кабеля

6.3 Определение резонансной частоты установленного акселерометра

6.3.1 Общие положения

Желательно, хотя на практике иногда и трудноосуществимо, определять точное значение резонансной частоты акселерометра, установленного на конструкции. Резонансная частота в направлении измерений может существенно отличаться от резонансной частоты в поперечном направлении, которая обычно существенно ниже. Для многокомпонентных акселерометров резонансные частоты для разных направлений измерений также могут быть различны.

Знание резонансной частоты позволяет быть уверенным, что между нею и диапазоном измерений вибрации имеется достаточный промежуток. Ниже описаны методы, которые могут быть использованы для нахождения приблизительного значения резонансной частоты.

6.3.2 Метод вибрационного возбуждения

Испытания проводят с применением вибростенда электродинамического типа и эталонного акселерометра. Испытуемый акселерометр вместе с устройством крепления устанавливают на стол вибростенда, и определяют зависимость выходного сигнала акселерометра от частоты возбуждения для нахождения частоты резонанса (см. [4] и [12]).

6.3.3 Метод ударного возбуждения

Один из методов определения частоты резонанса установленного акселерометра с использованием возбуждения ударом описан в [12]. Известны также другие методы возбуждения с применением баллистического маятника, свободного падения акселерометра, ударного молотка и слома графитового стержня.

В методе с применением баллистического маятника акселерометр устанавливают на наковальню, подвешенную как маятник, в то время как другая масса, подвешенная аналогичным образом, наносит по ней удар.

В методе свободного падения акселерометр устанавливают на массу, свободно падающую вдоль вертикальных направляющих на наковальню, в результате соударения с которой образуется ударный импульс. Крепление акселерометра к массе должно быть таким же, как и к реальной поверхности конструкции. Если невозможно добиться точного соответствия между характеристиками конструкции ма-

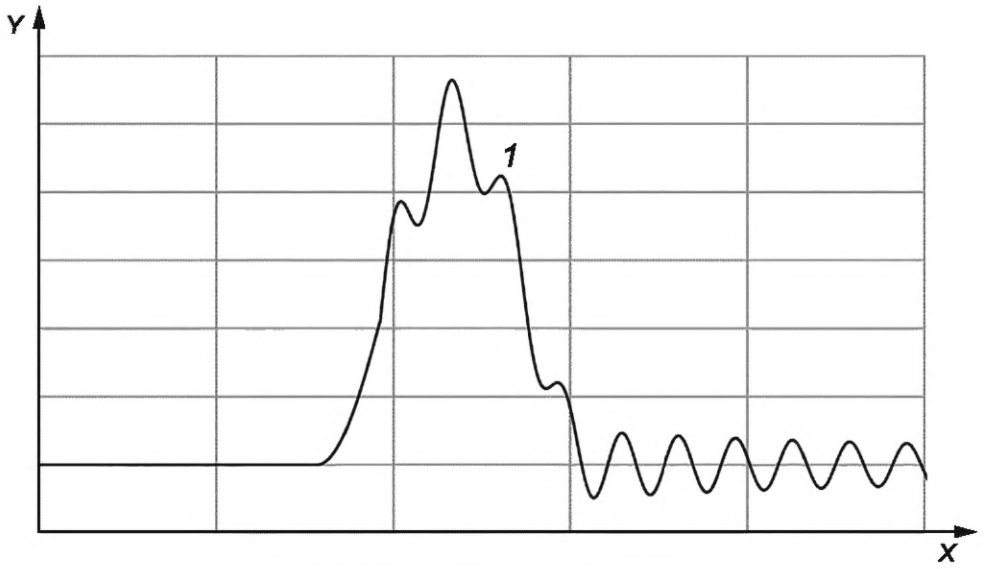
шины, на которую должен быть установлен акселерометр, и характеристиками молотка или наковальни, то последние, по крайней мере, должны быть сделаны из того же материала и иметь достаточные размеры, чтобы быть подобными конструкции машины с точки зрения ее жесткости.

Если собственными резонансами реальной конструкции машины можно пренебречь, то допускается использовать метод нанесения молотком удара по конструкции поблизости от установленного акселерометра.

Если длительность ударного импульса t_S не превышает $5/f_{res}$, где f_{res} — частота низшего резонанса установленного акселерометра, то выходной сигнал акселерометра будет содержать сигнал импульса с наложенным на него колебанием на частоте резонанса (см. рисунок 4).

Чтобы ударный импульс имел длительность, достаточную для наблюдения резонансных колебаний, необходимо соответствующим образом подобрать энергию ударного импульса (например, высоту, с которой падает масса) и жесткость соударяющихся поверхностей (например, стальных или освинцованных покрытий). Следует также обращать внимание на то, чтобы в процессе ударных испытаний возбуждался низший резонанс установленного акселерометра. Использование соответствующих устройств регистрации сигнала (например, запоминающего осциллографа), позволяет определить частоту наложенных резонансных колебаний. Особенно полезны эти методы, если частота резонанса высока.

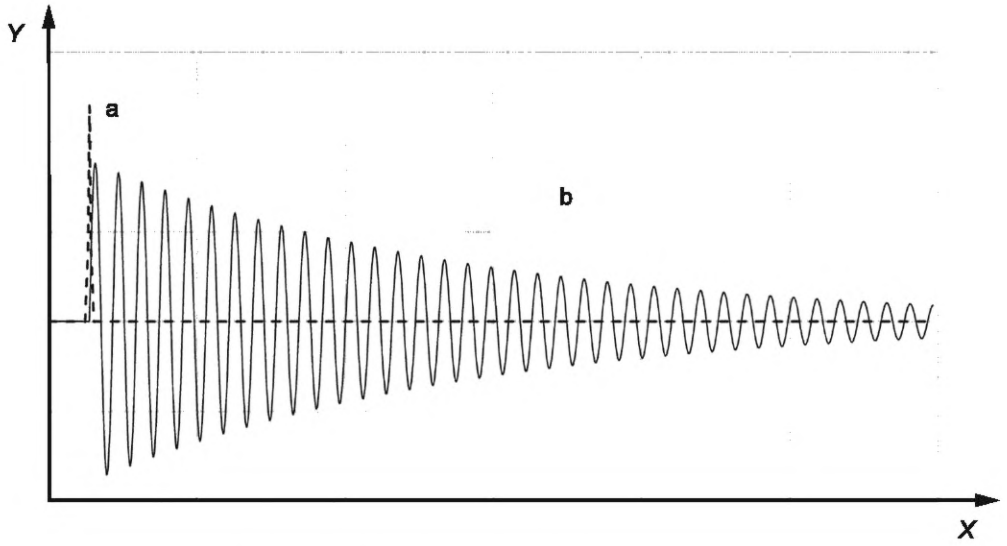
Стабильность крепления можно оценить, используя повторные возбуждения с ударным импульсом заданной формы.



X — время; *Y* — ускорение; *1* — отклик на удар с наложенным гармоническим колебанием

Рисунок 4 — Сигнал акселерометра после возбуждения ударом, $t_S < 5/f_{res}$

Широкополосный спектр возбуждения может быть воспроизведен при сломе графитового стержня (обычно диаметром 0,5 мм жесткостью 2Н) в направлении оси акселерометра вблизи места его установки. Для этого используют обычный механический карандаш со специальной пластмассовой насадкой, которая определяет место и угол слома, а также предотвращает повторные возбуждения (см. [13]). Длительность t_S импульса слома будет менее $1/f_{res}$, что позволяет получить сигнал возбуждения на частоте нижнего резонанса установленного акселерометра (см. [16]), как показано на рисунке 5.



X — время; *Y* — ускорение на выходе акселерометра;
a — импульс возбуждения; b — типичный отклик на возбуждение

Рисунок 5 — Сигнал акселерометра после возбуждения ударом (идеализированный случай)

6.4 Рекомендации в отношении разных способов крепления

6.4.1 Общие положения

Акселерометр устанавливают на гладкую чистую поверхность. При необходимости место установки подвергают дополнительной шлифовке. Размер приспособлений, на которые устанавливают акселерометр (магнит, промежуточный диск и др.) должен превышать размер установочной поверхности акселерометра. Расхождение между осью чувствительности акселерометра и направлением измерений должно быть сведено к минимуму, чтобы избежать погрешностей, связанных с отклонением угла чувствительности и поперечным коэффициентом преобразования акселерометра. Особенно большими эти погрешности будут в случае, когда колебания в поперечном направлении значительно превышают колебания в направлении оси чувствительности.

Чем выше частота измерений, тем более жесткие требования предъявляются к статической силе связи акселерометра с поверхностью и жесткости этой связи.

Масса акселерометра вместе с устройством крепления и незакрепленной частью сигнального кабеля должна быть минимальной, чтобы не влиять на измеряемую вибрацию поверхности.

При измерении вибрации поверхности электрических машин следует обеспечить изоляцию установочной поверхности акселерометра от вибрирующей поверхности машины, чтобы предотвратить образование земляных петель (см. 8.3).

Данные о состоянии поверхности и способе установки акселерометра указывают в протоколе измерений.

Следует учитывать, что характеристики акселерометра, указанные изготовителем, соответствуют рекомендуемому им способу крепления.

В таблице 1 приведен перечень наиболее важных с практической точки зрения критериев выбора способа крепления.

Таблица 1 — Критерии выбора способа крепления акселерометра

Соответствие критерию	Диапазон частот измерений	Сила связи с поверхностью	Устойчивость к нагреву	Зависимость от качества подготовки поверхности
Хорошее	Шпилька или болт	Шпилька или болт	Шпилька или болт	Шпилька или болт
	Цианоакрилатный клей или эпоксидный клей	Цианоакрилатный или эпоксидный клей	Магнит	Цианоакрилатный клей
	Клеевой воск	Тонкая двусторонняя клейкая лента	Цианоакрилатный клей или эпоксидный клей	Магнит
	Тонкая двусторонняя клейкая лента	Магнит	Ручной щуп	Клеевой воск
	Цианоакрилатный или эпоксидный клей с установочным диском	Клеевой воск	Тонкая двусторонняя клейкая лента	Тонкая двусторонняя клейкая лента
	Тонкая двусторонняя клейкая лента с установочным диском	Ручной щуп	Клеевой воск	Эпоксидный клей
Плохое	Магнит			Ручной щуп
	Ручной щуп			

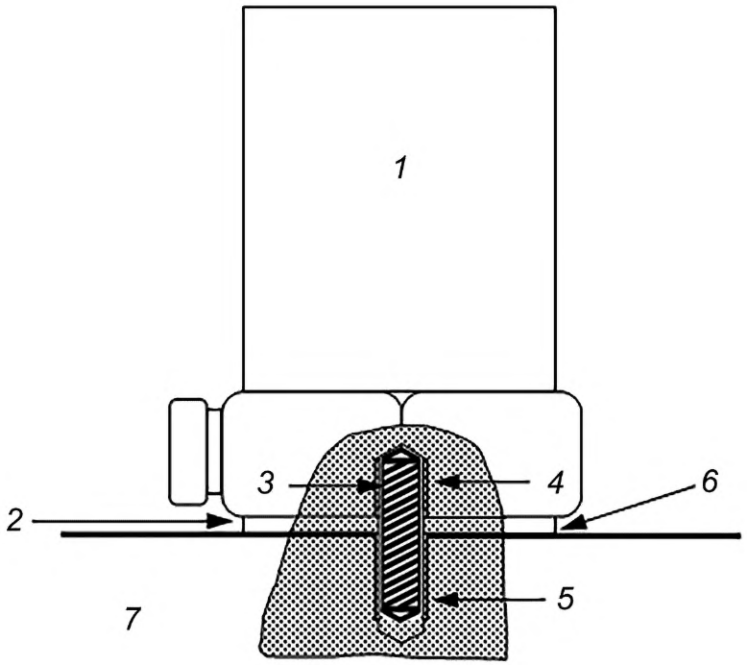
6.4.2 Резьбовое крепление

6.4.2.1 Поверхность, на которую устанавливают акселерометр, должна быть чистой, плоской и ровной, удовлетворяющей допускам, установленным изготовителем. Ось резьбового отверстия для шпильки или болта (винта) должна быть перпендикулярна к поверхности крепления.

6.4.2.2 Чтобы обеспечить требуемую жесткость соединения с поверхностью, но в то же время избежать повреждений акселерометра, следует руководствоваться рекомендациями изготовителя в отношении момента затяжки.

6.4.2.3 Для улучшения условий контакта и, следовательно, повышения жесткости соединения на поверхность в месте установки акселерометра наносят тонкий слой масла или смазки (см. рисунок 6).

6.4.2.4 Шпилька не должна касаться дна резьбового отверстия, поскольку это может привести к уменьшению жесткости крепления из-за зазора между вибрирующей поверхностью и установочной поверхностью акселерометра.

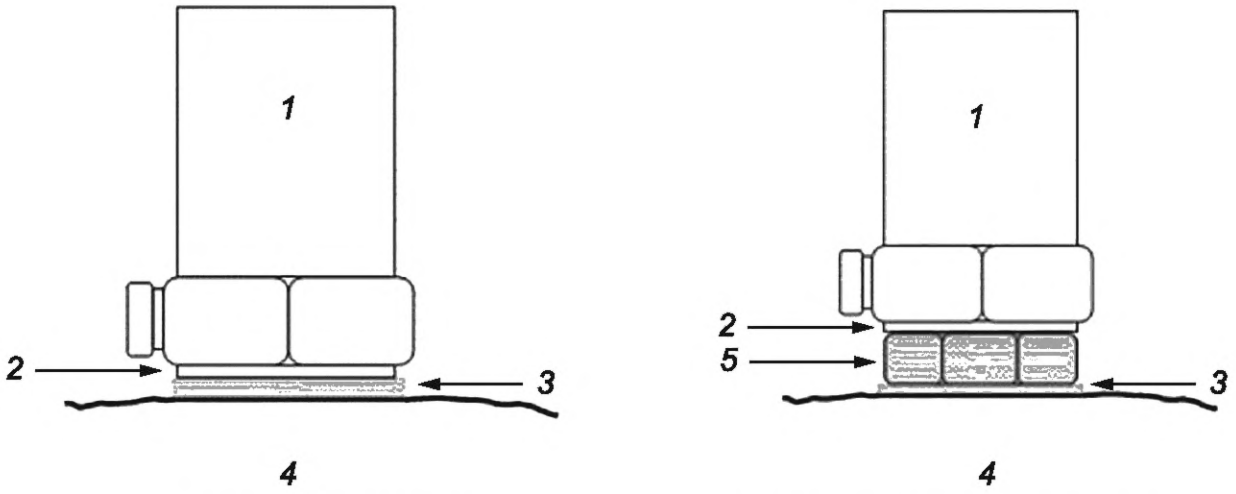


1 — акселерометр; *2* — установочная поверхность акселерометра; *3* — резьбовая шпилька; *4* — отверстие под шпильку в акселерометре; *5* — отверстие под шпильку на поверхности конструкции; *6* — тонкий слой масла или смазки; *7* — конструкция

Рисунок 6 — Крепление на резьбовую шпильку

6.4.3 Клеевое крепление

Этот метод (см. рисунок 7) может быть использован, когда поверхность конструкции нельзя подвергать сверлению, а также в случаях, когда необходима электрическая изоляция акселерометра или же поверхность конструкции недостаточно плоская. Если желательно избегать нанесения клеящего состава на установочную поверхность акселерометра или необходимо обеспечить быстрое крепление и отсоединение акселерометра, используют установочный диск, на одной стороне которого высверлено резьбовое отверстие для соединения с акселерометром через шпильку, а другая сторона приклеивается к поверхности конструкции.



a) Прямое клеевое крепление

b) Крепление через установочный диск

1 — акселерометр; *2* — установочная поверхность акселерометра; *3* — клей; *4* — конструкция; *5* — установочный диск

Рисунок 7 — Клеевое крепление

Поверхность конструкции должна быть очищена в соответствии с рекомендациями изготовителя клеевого состава.

Клеящий слой должен быть максимально тонким и полностью заполнять промежуток между поверхностью конструкции и установочной поверхностью акселерометра. Для этого акселерометр при установке притирают к поверхности с приложением некоторого усилия.

Использовать следует твердые клеи — двухкомпонентные или термопластичные, поскольку клеи на основе растворителей после затвердевания сохраняют упругость внутреннего слоя, что приводит к снижению резонансной частоты установленного акселерометра.

Цианоакрилатные клеи применяют только на ровных и гладких поверхностях. Эпоксидные клеи с наполнителями можно использовать на неровных поверхностях.

Для крепления используют также тонкие двусторонние клейкие ленты (скотчи), чья толщина обычно не превышает 0,2 мм. Применение пенопластовых клейких лент обычно не рекомендуется.

Выбор клея зависит от температуры поверхности во время измерений вибрации. Так, клеевой воск следует использовать только при комнатной температуре. Цианоакрилатные клеи допустимо использовать при температурах до 90 °С. При более высоких температурах следует применять двухкомпонентные клеи или использовать другие способы крепления.

Жесткость клеевого соединения должна быть максимальной. При известных физических характеристиках клея жесткость соединения можно оценить следующим образом.

Частоту резонанса установленного акселерометра f_c вычисляют по формуле

$$f_c = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{|K_c|}{m}}, \tag{1}$$

где K_c — комплексная жесткость клеевого слоя на сжатие;

m — общая масса акселерометра и всех приспособлений для его установки.

Комплексную жесткость на сжатие определяют по формулам:

$$K_c = E\,(1 + j\eta)\,A/d, \tag{2}$$

$$|K_c| = \frac{\sqrt{1+\eta^2}\cdot E\cdot A}{d} \approx \frac{E\cdot A}{d} \quad \text{при } \eta \ll 1, \tag{3}$$

где E — комплексный модуль Юнга для клея;

η — коэффициент потерь для клея;

A — площадь поверхности клеевого соединения;

d — толщина клеевого соединения;

j — мнимая единица, $j = \sqrt{-1}$.

Частоту резонанса в поперечном направлении f_s вычисляют по формуле

$$f_s = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{|K_s|}{m}}, \tag{4}$$

где K_s — комплексная жесткость клеевого слоя на сдвиг.

Комплексную жесткость на сдвиг определяют по формулам:

$$K_s = G\,(1 + j\beta)\,A/d, \tag{5}$$

$$|K_s| = \frac{\sqrt{1+\beta^2}\cdot G\cdot A}{d} \approx \frac{G\cdot A}{d} \quad \text{при } \beta \ll 1, \tag{6}$$

где G — модуль сдвига для клея;

β — коэффициент сдвиговых потерь для клея.

Чтобы повысить рабочий диапазон частот установленного акселерометра, клеевой слой должен обладать небольшим демпфированием (η или β должны быть менее 0,01), быть твердым (иметь высокие значения E и G) и тонким.

Для отсоединения акселерометра клеевой слой растворяют с применением подходящего растворителя и осторожно удаляют акселерометр с места соединения. Клей, оставшийся на акселерометре,

удаляют только растворителем. Не допускается в этих целях использовать механическую очистку, чтобы не повредить установочную поверхность акселерометра.

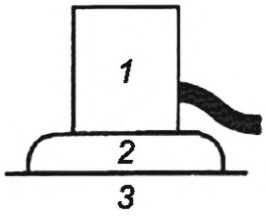
6.4.4 Крепление на магнит

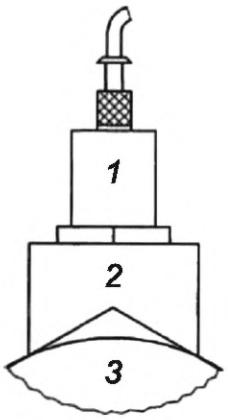
Данный способ крепления удобен при кратковременных измерениях. Используют магниты с большой силой притяжения, обычно из редкоземельных элементов. Поверхность конструкции должна быть максимально гладкой, чтобы обеспечить хорошие условия контакта по всей поверхности магнита. Между магнитом и поверхностью конструкции не должно быть никаких материалов. При правильной установке должна отсутствовать возможность любых качательных движений магнита. При необходимости обеспечить изоляцию акселерометра от поверхности конструкции применяют изолирующий адаптер между магнитом и акселерометром. Данный способ крепления применяют при условии, что конструкция изготовлена из ферромагнитного материала. Если это не так, то допускается использовать приклеиваемый к поверхности конструкции промежуточный диск из ферромагнетика размером не меньшим размеров магнита.

Частотная характеристика акселерометра зависит от качества подготовки поверхности, на которую устанавливают магнит, и от притягивающей силы магнита. Тонкая пленка масла между магнитом и поверхностью может улучшить его передаточные свойства. Для установки на поверхность с заметной кривизной применяют магниты специальной формы (см. рисунок 8).

Обычные магнитные материалы позволяют проводить измерения при температурах до 80 °С. Для измерений при более высоких температурах требуются магниты с особыми свойствами.

Притягивающие свойства магнита приводят к тому, что при установке акселерометра на магнит и при установке акселерометра вместе с магнитом на поверхность конструкции возможны сильные удары по акселерометру, способные привести к его повреждению. Чтобы избежать этого, установку магнита осуществляют скользящим движением вдоль установочной поверхности акселерометра и вдоль поверхности конструкции.





a) Установка на ровную поверхность b) Установка на закругленную поверхность

1 — акселерометр; *2* — магнит; *3* — конструкция из ферромагнитного материала

Рисунок 8 — Крепление на магнит

6.4.5 Приспособления для быстрого крепления акселерометра

Для облегчения установки акселерометра на поверхность конструкции созданы различные приспособления с устройством быстрой установки и легкой фиксации акселерометра. Большое разнообразие данных приспособлений не позволяет подробно описать их в настоящем стандарте. Их характеристики, такие как резонансная частота установленного акселерометра или допустимый диапазон ускорений вибрации, определяют экспериментально или берут из руководства пользователя.

6.4.6 Ручной щуп

При необходимости измерений вибрации конструкций, не допускающих закрепления акселерометра, обычно используют ручной щуп с навинченным на нем акселерометром. Постоянный контакт щупа с вибрирующей поверхностью конструкции поддерживают за счет прилагаемого усилия кистью руки [см. рисунок 9 а)].

Другой, более предпочтительный вариант использования ручного щупа показан на рисунке 9 b). В данном варианте закругленный наконечник щупа плотно вставляют в предварительно расточенное на поверхности конструкции отверстие.

Измерения с помощью ручного щупа возможны только в диапазоне до нескольких сотен герц, а их результаты подвержены значительному влиянию субъективных факторов, связанных с изменениями направления измерений и усилия прижатия. В связи с этим применение данного способа возможно только после подтверждения его пригодности для конкретной измерительной задачи.



a) Обычный щуп b) Щуп с закругленным наконечником

Рисунок 9 — Измерения с помощью ручного щупа

6.4.7 Крепление на конический болт

Крепление на конический болт (см. рисунок 10) является особым видом резьбового крепления. Конический болт, представляющий собой конус с углом при вершине 90° и резьбовым выступом, вворачиваемым в высверленное отверстие с фаской. Конический болт может быть в постоянном соединении с установочной поверхностью акселерометра или использоваться в качестве установочного диска.

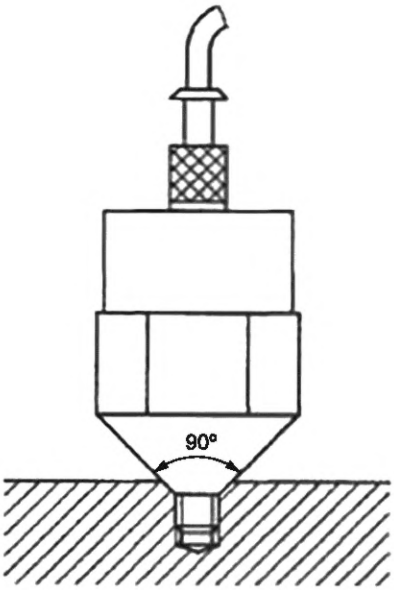


Рисунок 10 — Крепление на конический болт

Верхняя граница диапазона частот измерений с применением крепления на конический болт может достигать 10 кГц (ее действительное значение следует определять в каждом случае отдельно).

Данный вид крепления предъявляет высокие требования к соосности соединения.

6.4.8 Крепление через адаптеры при измерениях общей и локальной вибрации

Адаптеры специальной формы для измерений вибрации, передаваемой через ладонь человека, приведены в [9]. В [5] рассматриваются адаптеры простой и специальной формы, с ленточным креплением и удерживаемые силой нажатия для измерений локальной вибрации. Адаптер в виде полужесткого диска, используемый при измерении общей вибрации на подушке или спинке сиденья, рассматривается в [7].

6.4.9 Крепление на диск с тремя ножками и заземляющий стержень

Крепление на диск с тремя ножками[1)] используется при измерении общей вибрации, воздействующей на ноги работника, а также вибрации на полу помещений в зданиях. Установку акселерометра на заземляющий стержень, вбиваемый в грунт, применяют при измерениях вибрации, распространяющейся через земную поверхность. Приспособления данного вида применимы только для измерений вибрации на низких частотах с малыми амплитудами (см. [10]).

6.4.10 Крепление на клиновой анкер

При необходимость закрепить акселерометр на бетонной поверхности или кирпичной кладке используют клиновые анкеры или анкерные болты, фиксируемые в высверленном отверстии. Акселерометр устанавливают на головку болта, имеющую для этого резьбовое отверстие. Данный тип крепления используют при измерениях вибрации в зданиях или на других строительных конструкциях. Его применяют только для измерений вибрации на низких частотах с малыми амплитудами (см. [10]).

6.4.11 Вспомогательные элементы крепления

Вспомогательные элементы крепления, к которым также относятся изолирующие резьбовые шпильки, должны иметь высокую жесткость, малую массу, малый момент инерции, а их конструкция должна быть по возможности симметрична относительно направления измерений. При необходимости можно использовать металлический жесткий кубик с высверленным и нарезанным отверстием для установки акселерометра через шпильку.

Использовать в качестве вспомогательных элементов кронштейны не рекомендуется, но если это необходимо, то следует оценить связанные с ними моды вибрации и их собственные частоты при установленном акселерометре.

[1)] Конструкция такого диска рассматривается, например, в ГОСТ 31319—2006 «Вибрация. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Требования к проведению измерений на рабочих местах».

7 Типичные частотные характеристики акселерометра для разных способов крепления

На рисунках 11 и 12 показаны частотные характеристики для разных способов крепления акселерометров массой 11 и 27 г соответственно. В обоих случаях максимальная частота резонанса имеет место для резьбового крепления. Другие способы крепления, для которых резонансная частота ниже, в большей степени искажают измеряемый сигнал вибрации. Смещение резонансной частоты вызывает соответствующее изменение частотной характеристики акселерометра в диапазоне измерений. Это смещение сильно зависит от жесткости крепления. Обычно понижение жесткости вызывает рост частотной характеристики в верхней области частотного диапазона.

Ниже перечислены важные аспекты в отношении креплений разных видов, учет которых улучшает качество (жесткость) установки акселерометра.

Резьбовое соединение:

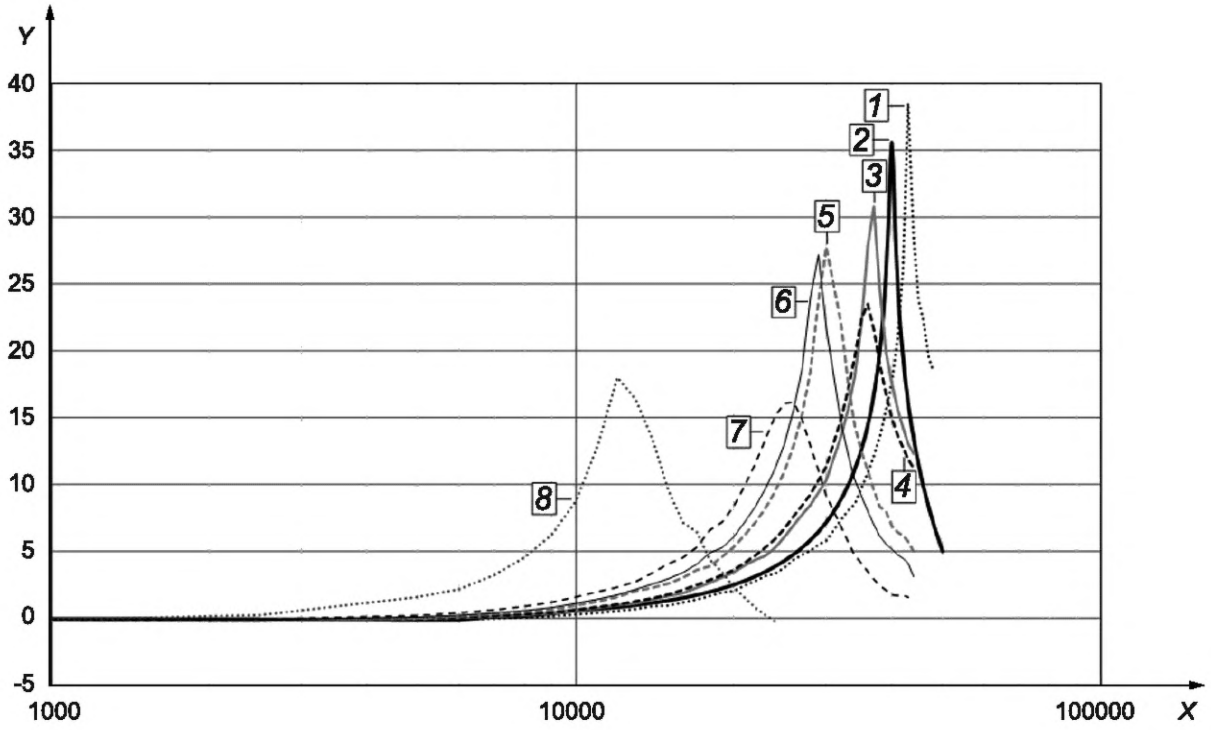
- перпендикулярность акселерометра к установочной поверхности;
- гладкость и плоскостность установочной поверхности акселерометра и поверхности конструкции в месте установки акселерометра;
- рекомендуемый момент затяжки акселерометра (в соответствии с инструкциями изготовителя);
- наличие слоя смазки на резьбе и в месте контакта поверхностей.

Клеи (цианоакрилатный, эпоксидный, цементный):

- гладкость и плоскостность установочной поверхности акселерометра и поверхности конструкции в месте установки акселерометра;
- чистота поверхностей в месте установки акселерометра (отсутствие частиц и следов смазки);
- малая толщина клеевого слоя;
- большая сила нажатия при установке акселерометра;
- рабочая температура, соответствующая применяемому клею.

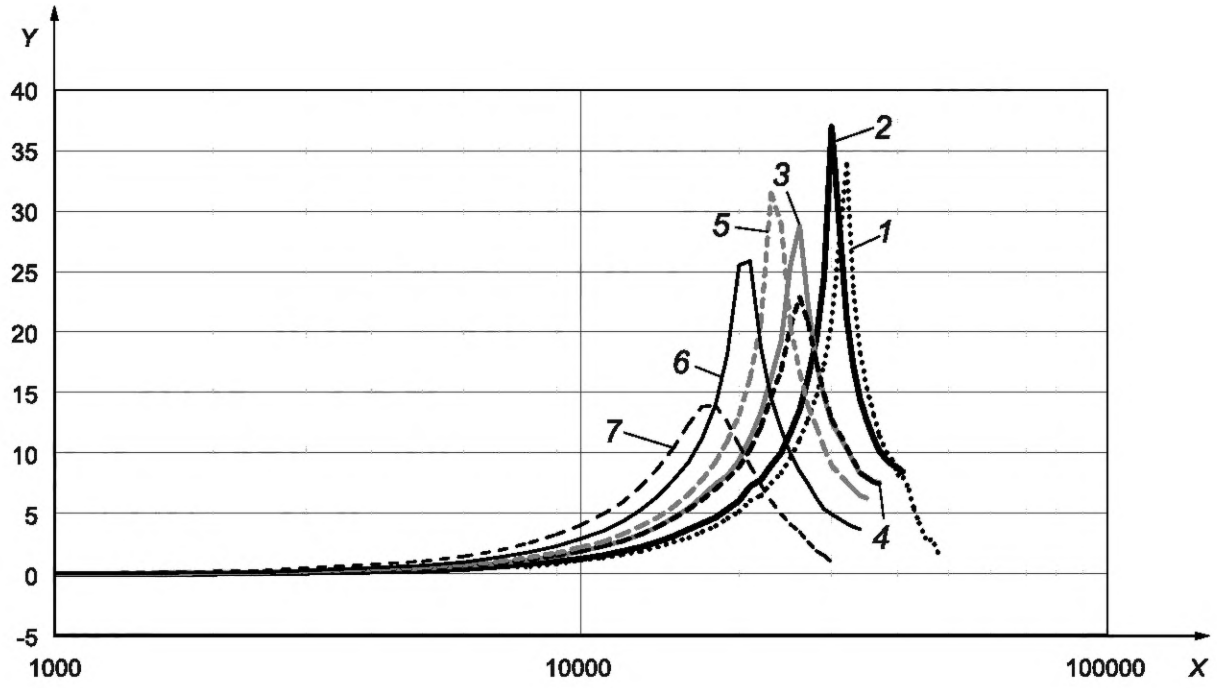
Двусторонняя клейкая лента:

- малая толщина и высокая эластичность ленты;
- чистота поверхностей в месте установки акселерометра (отсутствие частиц и следов смазки);
- гладкость и плоскостность установочной поверхности акселерометра и поверхности конструкции в месте установки акселерометра;
- большая сила нажатия при установке акселерометра;
- рабочая температура, соответствующая условиям применения клейкой ленты.



1 — резьбовое крепление; *2* — цианоакрилатный клей; *3* — клеевой воск; *4* — тонкая двусторонняя клейкая лента; *5* — цианоакрилатный клей с установочным диском; *6* — клеевой воск с установочным диском; *7* — двусторонняя клейкая лента с установочным диском; *8* — магнит; *X* — частота, Гц; *Y* — частотная характеристика акселерометра, дБ

Рисунок 11 — Частотные характеристики установленного акселерометра массой 11 г для разных способов крепления



1 — резьбовое крепление; *2* — цианоакрилатный клей; *3* — клеевой воск; *4* — тонкая двусторонняя клейкая лента; *5* — цианоакрилатный клей с установочным диском; *6* — клеевой воск с установочным диском; *7* — двусторонняя клейкая лента с установочным диском; *X* — частота, Гц; *Y* — частотная характеристика акселерометра, дБ

Рисунок 12 — Частотные характеристики установленного акселерометра массой 27 г для разных способов крепления

Клеевой воск (специальный воск для установки акселерометров):
- малая толщина слоя воска;
- чистота поверхностей в месте установки акселерометра (отсутствие следов масла);
- рабочая температура, соответствующая условиям применения воска.

Магнит:
- большая притягивающая сила магнита;
- гладкость поверхностей;
- большая площадь контакта магнита;
- наличие тонкого слоя масла или смазки в соответствии с температурным режимом работы (для гладких контактирующих поверхностей).

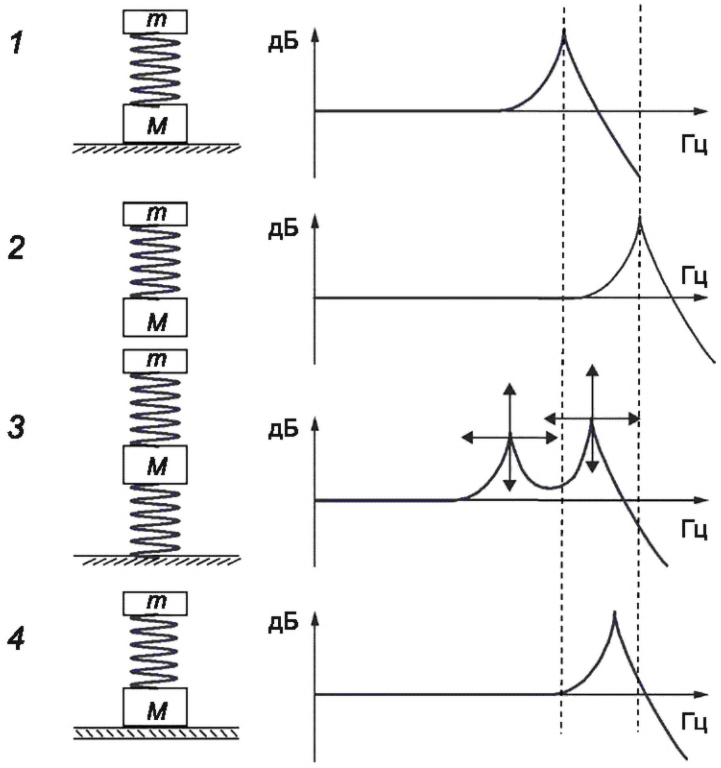
Частотные характеристики на рисунках 11 и 12 получены при условии, что масса акселерометра мала по сравнению с массой (эффективной массой) вибрирующей конструкции. На рисунке 13 показано, как может изменяться частотная характеристика при несоблюдении рекомендаций по установке акселерометра.

На рисунке 13 показаны два предельных варианта установки акселерометра, которым соответствуют две модели масс и жесткостей акселерометра.

Вариант 1 соответствует жесткой установке акселерометра на конструкцию, чья масса много больше массы акселерометра. Именно для такого варианта изготовитель приводит сведения о резонансной частоте установленного акселерометра.

Вариант 2 соответствует свободно подвешенному акселерометру. Собственная резонансная частота акселерометра будет много выше той, что соответствует варианту 1.

Между указанными предельными вариантами существует варианты 3 (нежесткая установка акселерометра) и 4 (установка акселерометра на легкую конструкцию). Для варианта 3 наблюдается пик частотной характеристики ниже частоты основного резонанса, что существенно снижает диапазон рабочих частот акселерометра. В варианте 4 динамическое поведение конструкции существенно изменяется под влиянием массы присоединенного акселерометра.



1 — вариант 1; *2* — вариант 2; *3* — вариант 3; *4* — вариант 4

Примечание — См. [15] и [16].

Рисунок 13 — Влияние условий установки акселерометра

8 Частные вопросы, связанные с креплением акселерометров

8.1 Чувствительность к деформации основания

Изготовитель акселерометра указывает чувствительность к деформации основания по [2]. При установке акселерометра следует обращать внимание на то, в каких случаях деформация установочной поверхности акселерометра может оказаться достаточно большой, чтобы значительно исказить выходной сигнал (такое может случиться, например, когда измерения выполняют в узле моды вибрации). В предельном случае сигнал вибрации и сигнал вследствие деформации основания могут взаимно подавить друг друга.

8.2 Температурные эффекты

Если акселерометр подвержен воздействию резких циклических изменений температуры, это способно привести к появлению пироэлектрического эффекта (например, в пьезоакселерометрах с сегнетоэлектрическими свойствами), влияющего на низкочастотную составляющую измеряемого сигнала. Если акселерометр очень чувствителен к изменениям температуры, то даже простой приток воздуха может привести к значительным искажениям сигнала. В таких случаях может помочь термоизоляция акселерометра, например, кожухом из вспененного материала.

Чувствительность акселерометра к изменениям температуры определяют согласно [3].

Следует обращать внимание на то, находятся ли вблизи акселерометра системы охлаждения или нагрева воздуха.

8.3 Земляные петли

Если акселерометр, источник питания и измерительный прибор имеют разные точки заземления, то разность электрических потенциалов между этими точками может вызвать появление выравнивающих токов в цепи заземления (см. рисунок 14). Эти токи могут привести к искажениям измеряемого сигнала вибрации, часто в виде наложения сигнала сетевой частоты. Земляные петли часто возникают в условиях сильных электромагнитных полей, например связанных с работой преобразователей частоты [17].

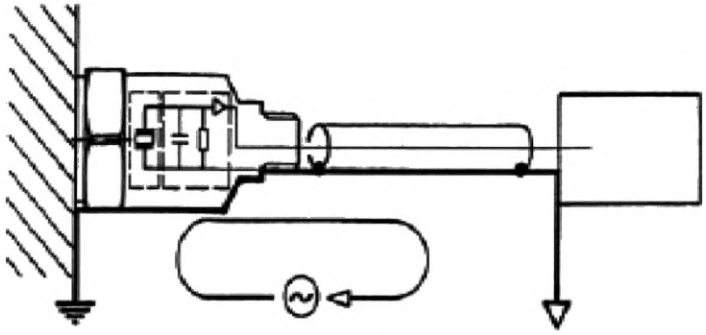


Рисунок 14 — Земляная петля (разные электрические потенциалы на акселерометре и усилителе)

Чтобы избежать внесения искажений в измеряемый сигнал, земляные петли должны быть разорваны. Это можно сделать разными способами, например электрической изоляцией крепления акселерометра (см. рисунки 15 и 16).

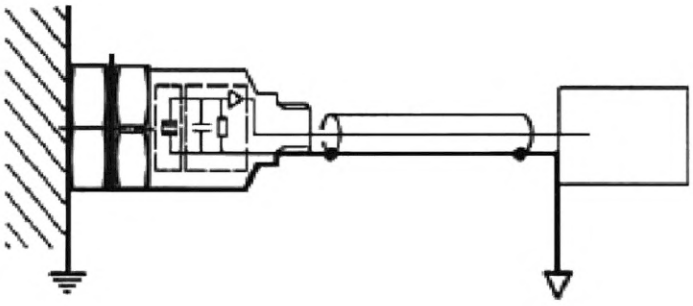


Рисунок 15 — Изолирующее крепление акселерометра

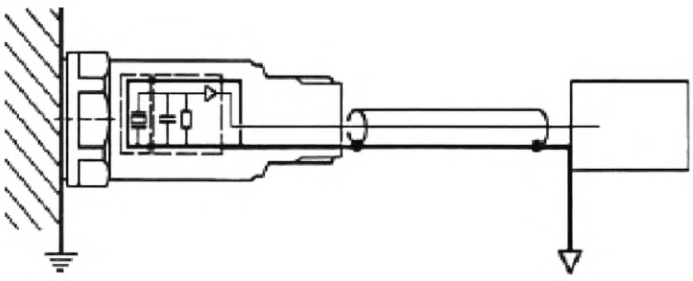


Рисунок 16 — Акселерометр с изолированным корпусом

Если изоляция крепления невозможна, можно использовать электрически изолированный согласующий усилитель с плавающим входом.

Если акселерометр подвержен воздействию переменных магнитных полей, следует убедиться в том, что эти поля не вносят существенных искажений в выходной сигнал акселерометра.

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов межгосударственным стандартам

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего межгосударственного стандарта
ISO 2041	—	*, 1)
ISO 8042	IDT	ГОСТ ИСО 8042—2002 «Вибрация и удар. Датчики инерционного типа для измерений вибрации и удара. Устанавливаемые характеристики»

* Соответствующий межгосударственный стандарт отсутствует. До его принятия рекомендуется использовать перевод на русский язык данного международного стандарта.

Примечание — В настоящей таблице использовано следующее условное обозначение степени соответствия стандарта:

- IDT — идентичный стандарт.

[1)] В Российской Федерации действует ГОСТ Р ИСО 2041—2012 «Вибрация, удар и контроль технического состояния. Термины и определения».

Библиография

[1] ISO 2954 — Mechanical vibration of rotating and reciprocating machinery — Requirements for instruments for measuring vibration severity (Вибрация машин вращательного и возвратно-поступательного действия. Требования к средствам измерений для оценки вибрационного состояния)[1)]

[2] ISO 5347-13 — Methods for the calibration of vibration and shock pick-ups — Part 13: Testing of base strain sensitivity (Методы калибровки датчиков вибрации и удара. Часть 13. Определение чувствительности к деформации основания)

[3] ISO 5347-18 — Methods for the calibration of vibration and shock pick-ups — Part 18: Testing of transient temperature sensitivity (Методы калибровки датчиков вибрации и удара. Часть 18. Определение чувствительности к изменениям температуры)

[4] ISO 5347-22 — Methods for the calibration of vibration and shock pick-ups — Part 22: Accelerometer resonance testing — General methods (Методы калибровки датчиков вибрации и удара. Часть 22. Испытания акселерометра на резонансе. Общие методы)

[5] ISO 5349-2 — Mechanical vibration — Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration — Part 2: Practical guidance for measurement at the workplace (Вибрация. Измерение локальной вибрации и оценка ее воздействия на человека. Часть 2. Практическое руководство по проведению измерений на рабочих местах)[2)]

[6] ISO 7626-1 — Mechanical vibration and shock — Experimental determination of mechanical mobility — Part 1: Basic terms and definitions, and transducer specifications (Вибрация и удар. Экспериментальное определение механической подвижности. Часть 1. Основные термины, определения и требования к преобразователям)[3)]

[7] ISO 10326-1 — Mechanical vibration — Laboratory method for evaluating vehicle seat vibration — Part 1: Basic requirements (Вибрация. Метод оценки вибрации сидений транспортных средств в условиях лабораторных испытаний. Часть 1. Общие требования)[4)]

[8] ISO 10817-1 — Rotating shaft vibration measuring systems — Part 1: Relative and absolute sensing of radial vibration (Системы измерений вибрации вращающихся валов. Часть 1. Устройства для снятия сигналов относительной и абсолютной вибрации в радиальном направлении)[5)]

[9] ISO 10819 — Mechanical vibration and shock — Hand-arm vibration — Measurement and evaluation of the vibration transmissibility of gloves at the palm of the hand (Вибрация и удар. Локальная вибрация. Измерения и оценка передаточной функции перчаток в области ладони)[6)]

[10] ISO/TS 14837-31 — Mechanical vibration — Ground-borne noise and vibration arising from rail systems — Part 31: Guideline on field measurements for the evaluation of human exposure in buildings (Вибрация. Шум и вибрация, создаваемые движением рельсового транспорта. Часть 31. Руководство по проведению измерений для оценки воздействия на человека в зданиях)

[1)] Рекомендуется применять гармонизированный стандарт ГОСТ ISO 2954—2014 «Вибрация. Контроль состояния машин по результатам измерений вибрации на невращающихся частях. Требования к средствам измерений».

[2)] Рекомендуется применять гармонизированный стандарт ГОСТ 31192.2—2005 (ИСО 5349-2:2001) «Вибрация. Измерение локальной вибрации и оценка ее воздействия на человека. Часть 2. Требования к проведению измерений на рабочих местах».

[3)] В Российской Федерации действует ГОСТ Р 59368.1—2021 «Вибрация и удар. Экспериментальное определение механической подвижности. Часть 1. Общее руководство и требования к преобразователям».

[4)] Рекомендуется применять гармонизированный стандарт ГОСТ ISO 10326-1—2024 «Вибрация. Оценка вибрации сидений транспортных средств по результатам лабораторных испытаний. Часть 1. Общие требования».

[5)] Рекомендуется применять гармонизированный стандарт ГОСТ ИСО 10817-1—2002 «Вибрация. Системы измерений вибрации вращающихся валов. Часть 1. Устройства для снятия сигналов относительной и абсолютной вибрации».

[6)] Рекомендуется применять гармонизированный стандарт ГОСТ ISO 10819—2017 «Вибрация и удар. Метод измерений и оценки передаточной функции перчаток в области ладони».

[11] ISO 16063-31 Methods for the calibration of vibration and shock transducers — Part 31: Testing of transverse vibration sensitivity (Методы калибровки преобразователей вибрации и удара. Часть 31. Определение коэффициента преобразования в поперечном направлении)

[12] ISO 16063-32 Methods for the calibration of vibration and shock transducers — Part 32: Resonance testing — Testing the frequency and the phase response of accelerometers by means of shock excitation (Методы калибровки преобразователей вибрации и удара. Часть 32. Испытания на резонансе. Определение частотной и фазовой характеристики акселерометров методом ударного возбуждения)

[13] ASTM E976 Standard guide for determining the reproducibility of acoustic emission sensor response (Руководство по определению воспроизводимости характеристик датчика акустической эмиссии)

[14] VDI 3839 Part 1 Instructions on measuring and interpreting the vibrations of machines — General principles (Инструкции по проведению измерений интерпретации вибрации машин. Общие принципы)

[15] Dumont M., Cook A., Kinsley N. Acceleration measurement optimization: Mounting considerations and sensor mass effect in M. Mains (ed.), Topics in Modal Analysis & Testing, Volume 10, Conference Proceedings of the Society for Experimental Mechanics Series, p. 61, Springer 2016

[16] Dumont M., Kuntz D., Petzsche Th. Testing methods for verification of a mounted accelerometer frequency response in N. Dervilis (ed.), Special Topics in Structural Dynamics, Volume 6, Conference Proceedings of the Society for Experimental Mechanics Series, p. 53, Springer 2017

[17] Instruction Manual K-Shear® Accelerometers; Document No. 002-089e-07-06.pdf (gost.e-ecolog.ru

УДК 531.768:006.354 МКС 17.160 IDT

Ключевые слова: вибрация, удар, измерения, преобразователи, характеристики

Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *И.А. Королева*
Компьютерная верстка *М.В. Малеевой*

Сдано в набор 18.12.2024. Подписано в печать 23.12.2024. Формат 60×84⅛. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 3,26. Уч.-изд. л. 2,77.

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Создано в единичном исполнении в ФГБУ «Институт стандартизации»
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