ГОСТ Р 51502—99
(МЭК 60068-2-64—93)

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Методы испытаний на стойкость к механическим внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий

ИСПЫТАНИЯ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ СЛУЧАЙНОЙ ШИРОКОПОЛОСНОЙ ВИБРАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИСПЫТАНИЯМИ

Издание официальное

БЗ 11—99/550

ГОССТАНДАРТ РОССИИ
Москва

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 РАЗРАБОТАН И ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 183 «Вибрация и удар»

2 ПРИНЯТ И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Постановлением Госстандарта России от 23 декабря 1999 г. № 676-ст

3 Настоящий стандарт соответствует МЭК 60068-2-64—93 «Испытания на воздействие внешних факторов. Часть 2. Испытания. Испытание Fh. Широкополосная случайная вибрация (цифровое управление испытаниями)»

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Введение

Настоящий стандарт устанавливает метод испытаний на вибропрочность и виброустойчивость машин и оборудования всех видов, которые в процессе эксплуатации могут подвергаться воздействию случайной вибрации. Метод и процедуры настоящего стандарта основаны на цифровом управлении случайной вибрацией.

Следует отметить, что испытания на случайную вибрацию представляют собой сложную область деятельности, требующую как хорошего понимания физических основ испытаний, так и опыта принятия технических решений. По сравнению с большинством испытаний других видов в данном испытании используют не детерминированные, а случайные процессы. Поэтому испытания на широкополосную случайную вибрацию описывают в терминах теории вероятности и математической статистики.

В целях согласования настоящего стандарта с комплексом межгосударственных стандартов «Методы испытаний машин, приборов и других технических изделий на стойкость к внешним воздействующим факторам» в нем опущен ряд разделов и приложений, имеющихся в МЭК 60068-2-64—93, а вместо них приведены ссылки на соответствующие стандарты комплекса. Кроме этого, изменено построение стандарта. В то же время в настоящем стандарте сохранена вся совокупность требований, установленных в МЭК 60068-2-64—93.

© ИПК Издательство стандартов, 2000

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Госстандарта России

ГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Методы испытаний на стойкость к механическим внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий

ИСПЫТАНИЯ НА ВОЗДЕЙСТВИЕ СЛУЧАЙНОЙ ШИРОКОПОЛОСНОЙ ВИБРАЦИИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЦИФРОВОЙ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ ИСПЫТАНИЯМИ

Environmental dynamic testing for machines, instruments and other articles.
Exposure to broad-band random vibration (digital control)

Дата введения 2000—07—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на машины, приборы и другие технические изделия всех видов (далее — образцы) и устанавливает метод испытаний для определения способности образца противостоять воздействию случайной широкополосной вибрации заданной степени жесткости.

Целью испытаний на вибропрочность является определение слабых мест механической конструкции или ухудшения рабочих характеристик образца вследствие кумулятивных эффектов изменений механических напряжений в изделии, обусловленных воздействием случайной вибрации, и использование полученных результатов в соответствии с правилами, устанавливаемыми в стандартах и технических условиях на продукцию или методиках испытаний (далее — НД), для принятия решения о его приемке. Должен ли образец в процессе испытаний функционировать или он подвергается воздействию вибрации в неработающем состоянии, должно быть определено в соответствующем НД.

Настоящий стандарт распространяется на образцы, которые в процессе эксплуатации или транспортирования, например на самолетах, космических кораблях или наземном транспорте, могут подвергаться воздействию случайной вибрации. Стандарт распространяется на образцы, свободные от упаковки, за исключением случаев, когда транспортная упаковка является составной частью образца.

Стандарт применяют совместно с ГОСТ 300630.0.0, в котором установлены общие требования к проведению испытаний на воздействие внешних факторов.

Руководство по проведению испытаний приведено в приложении А.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 24346—80 Вибрация. Термины и определения

ГОСТ 30630.0.0—99 Методы испытаний машин, приборов и других технических изделий на стойкость к внешним воздействующим факторам. Общие требования

ГОСТ 30630.1.1—99 Методы испытаний на стойкость к механическим внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Определение динамических характеристик конструкций

ГОСТ 30631—99 Общие требования к машинам, приборам и другим техническим изделиям в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам при эксплуатации.

Издание официальное

3 Определения

В настоящем стандарте применяют термины по ГОСТ 24346.

Кроме того, в настоящем стандарте применяют следующие термины и определения[1]:

3.1 **ширина пика на уровне минус 3 дБ:** Ширина полосы частот одиночного резонанса, определяемая как расстояние между двумя точками частотной характеристики, которые расположены на уровне 0,707 максимального значения характеристики на резонансе.

3.2 **спектральная плотность мощности ускорения:** Предельное отношение среднего квадратического значения сигнала ускорения после его прохождения через узкополосный фильтр к ширине полосы фильтра при стремлении ширины полосы к нулю, а времени усреднения — к бесконечности.

3.3 **погрешность смещения:** Систематическая ошибка оценки спектральной плотности мощности ускорения, связанная с конечным разрешением сигнала по частоте, которое присуще данному методу обработки.

3.4 **проверочная точка[2]:** Точка на крепежном приспособлении, на вибростоле или на образце, расположенная как можно ближе к одной из точек крепления и жестко с ней связанная.

Примечания

1 Если число точек крепления равно или менее четырех, каждую из этих точек следует использовать в качестве проверочной. Если число точек крепления более четырех, в соответствующем НД должны быть определены четыре наиболее представительные точки, которые будут использованы в качестве проверочных.

2 В особых случаях, например для больших или сложных образцов, когда проверочные точки не могут находиться вблизи точек крепления, положение проверочных точек должно быть определено в соответствующем НД.

3 При испытании большого количества образцов небольших размеров, закрепленных на одном крепежном приспособлении, или при испытании образца небольшого размера, имеющего несколько точек крепления, для получения сигнала управления может быть выбрана одна поверочная (она же контрольная, см. 3.22) точка. При этом сигнал управления будет иметь отношение к крепежному приспособлению, а не к точкам крепления образца (образцов). Это допускается только в том случае, если частота низшего резонанса нагруженного крепежного приспособления намного выше верхней границы диапазона частот испытаний.

3.5 **спектральная плотность мощности ускорения сигнала управления:** Спектральная плотность мощности ускорения сигнала в контрольной точке.

3.6 **цепь системы управления:** Электронный тракт, позволяющий проводить операции:

- оцифровки случайного аналогового сигнала, снятого в контрольной точке;
- выполнения необходимых процедур обработки;
- воспроизведения и необходимой коррекции аналогового сигнала, поступающего на усилитель мощности (см. А.1).

3.7 **пик-фактор:** Отношение пикового значения к среднему квадратическому значению.

3.8 **отсечка (клиппирование) сигнала управления:** Ограничение мгновенного значения сигнала управления.

3.9 **эффективный диапазон частот испытаний:** Диапазон между двумя частотами (выше f_1 и ниже f_2), составляющие которых реально присутствуют в возбуждении; эти частоты определяются спадом кривой спектральной плотности мощности ускорения в областях низких и высоких частот соответственно.

3.10 **погрешность воспроизведения спектральной плотности мощности ускорения:** Разность между заданной спектральной плотностью мощности ускорения и спектральной плотностью мощности ускорения сигнала управления.

3.11 **коррекция:** Процесс приведения к минимуму погрешности воспроизведения спектральной плотности мощности ускорения.

3.12 **спад на высоких частотах:** Участок заданной спектральной плотности мощности ускорения в области частот выше f_2 (см. А.2.4).

3.13 **разрешение по частоте:** Ширина интервала приращения частоты в спектральной плотности мощности ускорения.

Примечание — Эта величина является обратной к длине реализации процесса, используемой в цифровом анализе. Число интервалов приращения совпадает с числом спектральных линий в данном диапазоне частот.

---

[1] Для удобства пользования настоящим стандартом приведены термины, определенные в ГОСТ 30630.0.0. В этом случае даны соответствующие сноски.

[2] Соответствует определению, данному в ГОСТ 30630.0.0.

3.14 **наблюдаемая спектральная плотность мощности ускорения:** Оценка истинного значения спектральной плотности ускорения, считываемая с устройства отображения анализатора, которая включает погрешность измерительной системы, случайную погрешность и погрешность смещения.

3.15 **спад на низких частотах:** Участок заданной спектральной плотности мощности ускорения в области частот ниже f_1 (см. А.2.4).

3.16 **погрешность измерительной системы:** Погрешности, вносимые каждым блоком аналоговой обработки сигнала входной части системы управления и каждым аналоговым блоком внутри системы управления (см. А.2.3.2).

3.17 **управление по среднему значению сигналов в нескольких точках:** Спектральная плотность мощности ускорения сигнала управления, получаемая вычислением арифметического среднего спектральных плотностей мощности ускорения сигналов, снятых в нескольких проверочных точках (см. А.2.1.2).

3.18 **управление по максимальному значению сигналов в нескольких точках:** Спектральная плотность мощности ускорения сигнала управления, определяемая как совокупность максимальных значений для каждой спектральной линии в спектральных плотностях мощности ускорения сигналов, снятых в нескольких проверочных точках (см. А.2.1.2).

3.19 **предпочтительные направления воздействия вибрации**[1]**:** Три взаимно ортогональных направления, выбираемых, насколько это возможно, таким образом, чтобы вероятность появления повреждений образца во время испытаний была максимальной.

3.20 **случайная погрешность:** Погрешность оценки спектральной плотности мощности ускорения, изменяющаяся от одного измерения к другому, которая обусловлена конечным временем усреднения сигнала и конечной шириной полосы используемого фильтра (см. А.2.3.3).

3.21 **реализация процесса:** Совокупность отсчетов процесса, сделанных через равные промежутки времени, которые используют при выполнении процедуры быстрого преобразования Фурье.

3.22 **контрольная точка**[1]**:** Одна из проверочных точек, сигнал с которой используют для управления режимом испытаний таким образом, чтобы удовлетворить требованиям настоящего стандарта.

Примечание — Управление может осуществляться и по сигналу в воображаемой контрольной точке[2].

3.23 **воспроизводимость:** Близкое соответствие между результатами измерений одной и той же величины, имеющей одно и то же значение, которые проводятся:

- разными методами;
- с использованием разных средств;
- разными исследователями;
- в разных испытательных лабораториях;
- в различные моменты времени, интервалы между которыми значительно больше времени, необходимого для проведения единичного измерения;
- различными способами применения имеющихся средств.

Примечание — Термин «воспроизводимость» применяют также в случаях, когда принимают во внимание только одно из вышеперечисленных условий.

3.24 **точки измерения отклика:** Точки на образце, в которых проводят сбор данных для исследования частотной характеристики образца. Эти точки не совпадают с проверочными и контрольной точками.

3.25 **статистическая точность:** Отношение истинной спектральной плотности мощности к наблюдаемой.

3.26 **истинная спектральная плотность мощности ускорения:** Спектральная плотность мощности виброускорения, воздействующего на образец.

3.27 **оконная функция:** Финитная весовая функция, используемая для уменьшения погрешностей при обработке данных.

---

[1] Соответствует определению, данному в ГОСТ 30630.0.0.

[2] Следует обратить особое внимание на то, что в настоящем стандарте под сигналом управления понимают сигнал в контрольной точке (реальной или воображаемой), что может расходиться с терминологией, принятой в отечественной практике проведения испытаний.

4 Крепление образца

Образец должен быть закреплен на вибростоле в соответствии с требованиями ГОСТ 30630.0.0, а порядок его установки должен быть указан в соответствующем НД. Отступление от этого порядка допускается только в обоснованных случаях, когда установлено, что эти отступления не повлияют на результат испытаний.

5 Определение частотной характеристики образца

Исследование частотной характеристики образца в заданном диапазоне частот проводят для определения его критических частот в том случае, если эти частоты не указаны в соответствующем НД.

Измерение частотной характеристики образца проводят во всем диапазоне частот испытаний по ГОСТ 30630.1.1.

6 Начальные измерения

В соответствии с ГОСТ 30630.0.0 перед началом испытаний на вибропрочность и виброустойчивость образец должен быть подвергнут визуальному осмотру, контролю размеров и проверке эксплуатационных свойств в соответствии с требованиями соответствующего НД.

Кроме того, перед проведением испытаний на вибропрочность и виброустойчивость с заданным уровнем возбуждения может потребоваться предварительное возбуждение образца случайной вибрацией с более низким уровнем для предварительного анализа и коррекции сигнала. Необходимо, чтобы на данном этапе уровень спектральной плотности мощности ускорения был минимальным.

Длительность предварительного возбуждения (в зависимости от отношения уровня данного возбуждения к уровню возбуждения, установленного для испытания на воздействие случайной вибрацией) может быть следующей:

- уровень менее минус 12 дБ от установленного — неограниченная длительность;
- уровень от минус 12 дБ до минус 6 дБ от установленного — не более чем в 1,5 раза больше установленного времени выдержки;
- уровень от минус 6 дБ до 0 дБ от установленного — не более 10 % установленного времени выдержки.

При определении времени выдержки (см. 7.8.5) длительность предварительного возбуждения не следует вычитать из установленной длительности испытаний на вибропрочность.

7 Выдержка

7.1 Общие положения

Образец должен быть подвергнут воздействию вибрации поочередно в каждом из трех взаимно перпендикулярных направлений в любой последовательности, если иное не установлено в НД на конкретные виды изделий.

Спектральную плотность мощности сигнала управления определяют по сигналу в контрольной точке, если используют управление по одной точке, и по сигналам в нескольких проверочных точках, если используют управление по нескольким точкам. В последнем случае в соответствующем НД должно быть определено, по какому сигналу осуществляют управление — по сигналу, полученному усреднением по нескольким проверочным точкам, или по сигналу в какой-либо выбранной точке, например в той, где значение вибрации максимальное. При управлении по нескольким точкам контрольная точка становится воображаемой.

Если образец, предназначенный для эксплуатации с виброизоляторами, должен быть испытан без них, следует принять специальные меры (см. А.4).

Диапазон частот (от f_1 до f_2), в котором определена спектральная плотность мощности ускорения, форма ее кривой и время выдержки должны быть указаны в соответствующем НД. Если это указано в соответствующем НД, то через определенные интервалы времени следует проводить измерения спектральной плотности мощности ускорения и среднего квадратического значения ускорения в проверочных точках для контроля стационарности режима возбуждения. Результаты измерений должны быть отражены в протоколе испытаний.

7.2 Воспроизводимое движение

Вибрация, возбуждаемая в точках крепления образца, которые должны быть указаны в соответствующем НД, представляет собой идентичные поступательные колебания случайного

характера. Мгновенное ускорение колебаний должно быть распределено по нормальному (гауссовскому) закону. Если достижение идентичности движения в различных точках затруднительно с практической точки зрения, следует использовать управление по сигналам в нескольких точках.

7.3 Ограничения на поперечное движение

Спектральная плотность мощности ускорения в проверочных точках в любом из направлений, перпендикулярных направлению основного движения, не должна превышать установленного значения для движения в основном направлении более чем на 5 %, а соответствующее среднее квадратическое значение ускорения — более чем на 50 %. В особых случаях, например для образцов небольших размеров, в НД может быть указано предельное допустимое отношение спектральной плотности мощности ускорения в поперечном направлении к этой же характеристике в направлении основного движения, равное 3 дБ.

В некоторых случаях, например для образцов больших размеров или с большой массой или на некоторых частотах возбуждения, может оказаться затруднительным обеспечение выполнения вышеуказанных требований. В этом случае в соответствующем НД должно быть оговорено одно из следующих условий:

а) любое превышение вышеуказанных значений должно быть зафиксировано и указано в протоколе испытаний;

б) поперечное движение (если известно, что оно не представляет опасности для образца) не контролируют.

7.4 Распределение случайной вибрации

Мгновенное значение ускорения в контрольной точке должно иметь нормальное (гауссовское) распределение с пределами допуска, указанными на рисунке 1 (см. А.2.2).

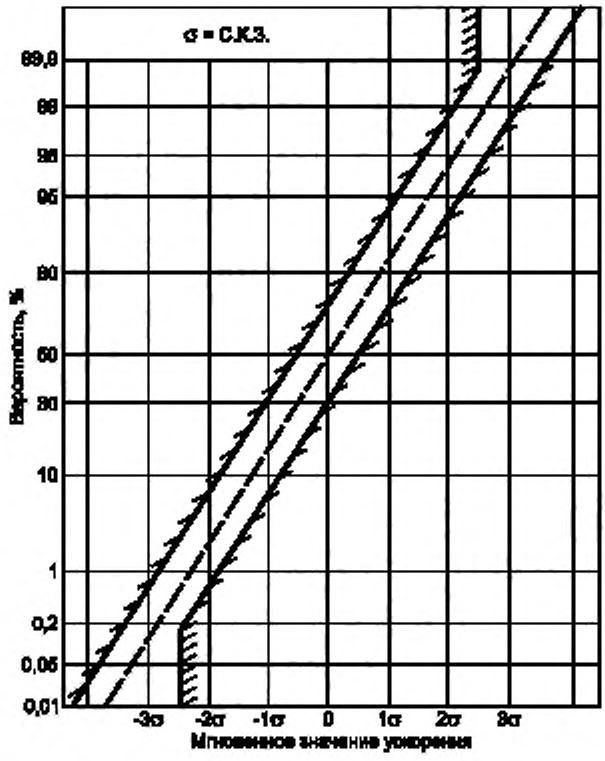


Рисунок 1 — Границы допуска для функции распределения вероятностей мгновенных значений ускорения

Выполнение данного требования необходимо проверять на этапе начальных измерений (раздел 6).

Если для управления используют сигнал в воображаемой контрольной точке, требования к распределению распространяются на сигналы во всех проверочных точках, которые формируют сигнал управления.

Значение пик-фактора должно быть указано в соответствующем НД и не должно быть менее 2,5. Ему должен соответствовать уровень отсечки сигнала возбуждения. Следует контролировать форму сигнала ускорения в проверочных точках, чтобы убедиться, что в сигнале присутствуют пики, превышающие установленное среднее квадратическое значение не менее чем в 2,5 раза.

7.5 Допуск на спектральную плотность мощности

Отклонение наблюдаемой спектральной плотности мощности ускорения в каждой проверочной или контрольной точке в диапазоне частот от f_1 до f_2 (см. рисунок 2) от заданной, обусловленное погрешностью средств измерений, не должно выходить за пределы ±3 дБ (см. А.2.3.3). Этот допуск не учитывает случайную погрешность (см. А.2.3.3) и погрешность смещения. Максимальная допустимая погрешность смещения должна быть определена в соответствующем НД (см. А.2.3.4).

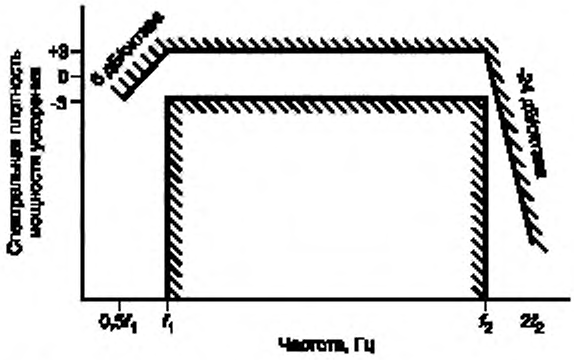


Рисунок 2 — Границы допуска для спектральной плотности мощности ускорения

Отклонение среднего квадратического значения ускорения в диапазоне частот от f_1 до f_2 (вычисленное или измеренное) от значения этой характеристики, рассчитанного для заданной спектральной плотности мощности ускорения, не должно превышать ±20 %[1]. Указанное требование должно выполняться для управления как по одной, так и по нескольким точкам.

Если данное требование не может быть выполнено (например для образцов больших размеров или большой массой или на некоторых частотах возбуждения), в соответствующем НД должно быть указано большее значение допуска.

Спад кривой спектральной плотности мощности ускорения с области низких и высоких частот должен быть не менее плюс 6 дБ/октава и не более минус 24 дБ/октава соответственно (см. А.2.4).

7.6 Статистическая точность

Статистическую точность определяют через число статистических степеней свободы N_d, которое рассчитывают по формуле

$$N_d = 2B_e\ T_a, \qquad (1)$$

где B_e — разрешение по частоте, Гц;

T_a — эффективное время усреднения, с.

Значение N_d не должно быть менее 120 (см. А.2).

7.7 Разрешение по частоте

Разрешение по частоте, необходимое для того, чтобы минимизировать разность между истинной и наблюдаемой спектральной плотностью мощности ускорения, зависит от того, проводилось ли предварительное определение частотной характеристики образца в соответствии с разделом 5.

Если такое определение не проводилось, то максимальное значение разрешения по частоте следует определять по таблице 1.

[1] В МЭК 60068-2—64 установлено ограничение ±10 %.

При предварительном определении частотной характеристики разрешение по частоте B_e должно быть определено по резонансу с самой узкой шириной пика на уровне минус 3 дБ B_r. Разрешение по частоте B_e получают по формуле

$$B_e = a\ B_r, \qquad (2)$$

где a всегда меньше единицы.

Коэффициент a определяют по таблице 2 в зависимости от погрешности смещения E_b (см. А.2.3.4).

Таблица 1 — Разрешение по частоте

В герцах

Диапазон частот испытаний		Верхнее допустимое значение разрешения по частоте
f_1	f_2	
1	100	0,5
5	500	2,5
20	2000	10
50	5000	25

Таблица 2 — Коэффициент a и погрешность смещения для окна прямоугольной формы

Погрешность смещения E_b, дБ	Коэффициент a
±3	0,87
±2	0,75
±1	0,56
±0,5	0,40

Примечание — Для других видов оконной функции коэффициент a следует разделить на коэффициент W, значения которого приведены в таблице А.3 (см. А.2.3.4).

7.8 Степень жесткости условий испытаний

7.8.1 Общие положения

Степень жесткости условий испытаний определяется сочетанием следующих параметров:

- диапазон частот испытания;
- значения спектральной плотности мощности ускорения;
- формы кривой спектральной плотности мощности ускорения;
- длительность воздействия вибрации (только для испытаний на вибропрочность).

Значения указанных параметров должны быть определены в соответствующих НД:

а) выбором из значений, приведенных в 7.8.2 — 7.8.5 (см. ГОСТ 30631) или

б) исходя из известных условий эксплуатации образца, если они дают существенно иные значения параметров, или по другим известным источникам.

Таблица 3 — Диапазон частот испытания

В герцах

f_1	f_2
1	100
5	500
20	2000
50	5000

7.8.2 Диапазон частот испытаний

Границы диапазона частот выбирают из значений, приведенных в таблице 3.

Частоты f_1 и f_2 и их связь со спектральной плотностью мощности ускорения указаны на рисунке 2.

7.8.3 Спектральная плотность мощности ускорения

Значение спектральной плотности мощности ускорения (уровень 0 дБ на рисунке 2) в диапазоне между f_1 и f_2 $(м/с^2)^2/Гц$, выбирают из ряда: 0,05; 0,1; 0,5; 1,0; 5,0; 10,0; 50,0; 100,0.

Примечание — Если указанные значения выражаются в единицах ускорения свободного падения g_n, то для целей настоящего стандарта достаточно использовать округление g_n = 10 м/с^2.

7.8.4 Форма кривой спектральной плотности мощности ускорения

Для настоящего испытания форма кривой спектральной плотности мощности ускорения определена в виде участка с плоской вершиной (см. рисунок 2). Допускается иная форма кривой, когда значение спектральной плотности мощности ускорения изменяется с изменением частоты. В этом случае форма кривой должна быть указана в соответствующем НД. Если диапазон частот испытания разбит на поддиапазоны, в каждом из которых спектральную плотность мощности ускорения задают в виде постоянного значения, границы поддиапазонов и значения спектральной плотности мощности следует, по возможности, выбирать из значений, приведенных в 7.8.2 и 7.8.3. В соответствующем НД должно быть также указано, каким образом соединены участки постоянного значения спектральной плотности в разных поддиапазонах.

7.8.5 Длительность воздействия вибрации (время выдержки)

Длительность воздействия вибрации в каждом направлении для испытаний на вибропрочность, в минутах, выбирают из следующего ряда (допустимая погрешность $^{+5}_{0}$ %): 1; 3; 10; 30; 100; 300.

8 Восстановление

Если указано в соответствующей НД, перед проведением заключительных измерений проводят этап восстановления по ГОСТ 30630.0.0.

9 Заключительные измерения

Образец должен быть подвергнут визуальному осмотру, контролю размеров и проверке эксплуатационных свойств в соответствии с требованиями соответствующего НД.

В том же НД должны быть предусмотрены критерии приемки или отбраковки образца.

10 Сведения, приводимые в соответствующем НД

Если соответствующим НД установлен данный метод испытаний, в нем должны быть приведены, при необходимости, следующие данные:

- требования к первоначальному определению частотной характеристики (если такое определение проводят) и тип применяемого возбуждения — синусоидальное или случайное;
- требования к определению частотной характеристики в конце серии испытаний;
- точки крепления[1)];
- поперечное движение;
- пик-фактор или уровень отсечки сигнала[1)];
- допуск на сигнал;
- допустимую погрешность смещения (если предварительное определение частотной характеристики не проводят)[1)];
- крепление;
- диапазон частот[1)];
- уровень спектральной плотности мощности ускорения[1)];
- форму кривой спектральной плотности мощности ускорения[1)];
- продолжительность испытаний (для испытаний на вибропрочность)[1)];
- условия предварительной выдержки;
- условия начальных измерений;
- способ управления по нескольким точкам;
- направления и порядок возбуждения вибрации;
- точки измерения отклика при определении частотной характеристики (если проводят);
- способ измерения спектральной плотности мощности ускорения по нескольким точкам;
- условия промежуточных измерений;
- условия восстановления;
- условия заключительных измерений и критерии приемки или отбраковки образца[1)].

[1)] Данные, указываемые в НД в обязательном порядке.

ПРИЛОЖЕНИЕ А
(рекомендуемое)

Руководство по проведению испытаний

А.1 Введение

Достижение воспроизводимости в процессе испытаний данного типа является сложной задачей. Статистическая природа случайного сигнала, сложная частотная характеристика образца, погрешности, связанные с процедурами анализа, — все это не позволяет с определенностью сказать, согласуются ли наблюдаемая и истинная спектральные плотности мощности ускорения в рамках установленных допусков. Произвести необходимые оценки в процессе самого испытания невозможно. После его завершения необходимо осуществить сложные, требующие больших временных затрат процедуры анализа.

Можно ожидать, что основные рабочие характеристики различных цифровых систем управления вибрационными испытаниями будут схожи между собой. Используя возможные значения этих характеристик, можно провести предварительную оценку погрешности, связанной с различием между истинной и наблюдаемой спектральными плотностями мощности ускорения. Данные характеристики являются взаимосвязанными и могут быть выбраны таким образом, чтобы получить оптимальное соответствие между этими двумя функциями спектральной плотности.

Коррекция заданной спектральной плотности мощности ускорения, осуществляемая посредством цепи управления, требует нескольких шагов итерации. Длительность каждого шага итерации зависит от нескольких факторов, таких как выбранная конфигурация вычислительных средств, общая передаточная функция системы, форма заданной спектральной плотности мощности ускорения, алгоритм управления и параметры испытаний, которые могут быть выбраны до начала их проведения. Такими параметрами являются: максимальное значение частоты анализа, разрешение по частоте и уровень отсечки сигнала.

Алгоритм управления случайной вибрацией основан на компромиссе между точностью управления и временем управления (задержки сигнала в цепи управления), которое, в частности, зависит от длительности реализации. Высокая точность управления достигается только при использовании большого числа данных, что, в свою очередь, увеличивает время задержки цепи и, следовательно, замедляет реакцию на происходящие изменения формы спектральной плотности мощности ускорения. Большое влияние на время задержки цепи и на ошибки управления оказывает также значение такой характеристики, как разрешение по частоте. Как правило, более узкая полоса разрешения обеспечивает большую точность контроля и меньшую погрешность смещения, но увеличивает время управления и, кроме того, может привести к повышению случайной погрешности (см. А.2.3.3). Для того, чтобы минимизировать разность между истинной и наблюдаемой спектральной плотностью мощности ускорения образца, необходимо подобрать оптимальные значения вышеуказанных параметров.

Исследования частотной характеристики образца позволяют получить важную информацию о взаимодействии вибростенда и образца. Например, с помощью таких исследований можно выявить чрезмерное усиление вибрации за счет устройств крепления образца или совпадение резонансных частот образца и устройств его крепления. Это дает возможность выбора наиболее подходящего устройства крепления и таких параметров испытаний, которые наилучшим образом обеспечат воспроизводимость испытания.

Если исследование частотной характеристики проведено не было, а используемое число спектральных линий мало, то при низкой частоте резонанса и малом значении коэффициента демпфирования может быть получена очень большая погрешность смещения. Из таблицы А.1 видно, что при коэффициенте демпфирования в испытуемом образце 0,1 и частоте резонанса, лежащей ниже 3 % f_2 (см. таблицу 3), погрешность смещения будет 3 дБ и более. В таких случаях в соответствующем НД должен быть предусмотрен либо более широкий допуск на погрешность испытаний, либо проведение исследований частотной характеристики для уменьшения погрешности смещения и повышения воспроизводимости испытания. Однако до того, как исследование частотной характеристики проведено, предсказать значения коэффициента демпфирования и частот резонанса бывает довольно сложно. Поэтому предсказать, что метод без исследования частотной характеристики даст удовлетворительные результаты можно только для образцов очень маленьких размеров с высокой степенью жесткости.

Таблица А.1 — Ограничения частоты нижнего резонанса при заданной погрешности смещения (200 линий в спектре ускорения)

Коэффициент демпфирования	Значение резонансной частоты (в процентах от f_2) для погрешностей смещения, дБ	
	3	6
0,005	62	51
0,01	35	29
0,05	7	6
0,1	3	2,5

А.2 Требования к проведению испытания

А.2.1 Управления по сигналу в одной и в нескольких точках

Соблюдение требований к испытанию проверяют по характеристике спектральной плотности мощности ускорения, которую вычисляют для случайного сигнала, снимаемого в контрольной точке.

Для образцов высокой жесткости и малых размеров, например для некоторых изделий электронной техники, достаточно только одной проверочной точки, которая становится также точкой контроля.

Для образцов сложной конструкции или больших размеров, например для оборудования с широко разнесенными точками крепления, в качестве контрольной точки используют либо одну из проверочных точек, либо воображаемую контрольную точку. В случае воображаемой контрольной точки спектральную плотность мощности ускорения вычисляют на основе случайных сигналов, снимаемых в проверочных точках. Для образцов сложной конструкции или больших размеров рекомендуется использовать управление по сигналу в воображаемой контрольной точке (см. 3.4).

А.2.1.1 Управление по сигналу в одной точке

Измерения проводят в одной контрольной точке, после чего сравнивают наблюдаемую и заданную спектральные плотности мощности ускорения.

А.2.1.2 Управление по сигналу в нескольких точках

Если предусмотрено управление по сигналу в нескольких точках (или такая необходимость выявлена в ходе исследований), встает вопрос выбора стратегии управления.

А.2.1.2.1 Управление по среднему значению

При выборе данной стратегии спектральную плотность мощности ускорения вычисляют на основе измерений сигнала в каждой проверочной точке. Управление осуществляют по характеристике, являющейся средним арифметическим спектральных плотностей мощности ускорения по всем проверочным точкам.

Вычисленную характеристику сравнивают с заданной спектральной плотностью ускорения.

А.2.1.2.2 Управление по максимальному значению

При выборе данной стратегии спектральную плотность мощности ускорения вычисляют на основе максимальных значений каждой спектральной линии в спектральных плотностях мощности ускорения, измеренных для каждой проверочной точки.

В результате получают характеристику спектральной плотности мощности ускорения, представляющую собой огибающую спектральных плотностей мощности ускорения в каждой проверочной точке при их наложении друг на друга.

А.2.2 Распределение

А.2.2.1 Распределение мгновенного значения

Распределение мгновенного значения сигнала возбуждения, используемого в процессе испытания, должно быть нормальным или гауссовским и определяется формулой

$$p(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}}\, e^{-1/2\left(\frac{x}{\sigma}\right)^2}, \qquad (A.1)$$

где $p(x)$ — плотность вероятности распределения;

σ — среднее квадратическое значение сигнала возбуждения (или стандартное отклонение);

x — мгновенное значение сигнала возбуждения.

Предполагают, что среднее по времени значение сигнала возбуждения равно нулю.

Функция нормальной плотности распределения вероятностей показана на рисунке А.1.

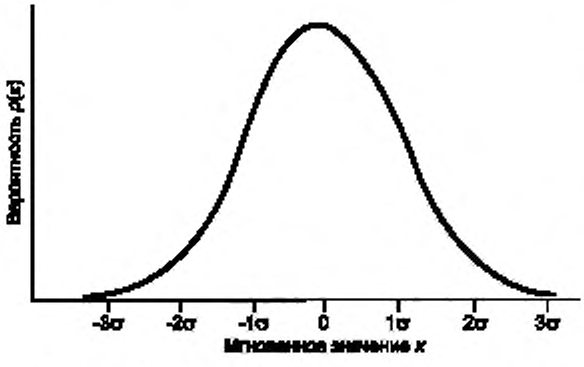


Рисунок А.1 — Гауссовская плотность распределения вероятностей

Примечание — Нормальное или гауссовское приближение — это идеализация; на практике обычно не встречается сигнал с истинно нормальным распределением. Для большинства сигналов характерен конечный диапазон значений, в то время как для чисто гауссовского распределения он бесконечен.

Причинами, по которым выбирают именно гауссовское распределение, являются следующие:

- данный закон распределения хорошо изучен. Он удобен для построения статистических моделей и позволяет легко находить требуемые статистические характеристики;
- в соответствии с центральной предельной теоремой сумма переменных, распределенных по произвольному закону, стремится к нормальному распределению, если число слагаемых достаточно велико. В свою очередь, процесс

фильтрации сигналов эквивалентен процессу суммирования большого числа наблюдений, что приводит к тому, что распределение выходного сигнала становится близким к нормальному;

- любое линейное преобразование нормально распределенного сигнала дает сигнал, также распределенный по нормальному закону;

- практика измерений случайной вибрации в различных условиях применения показывает, что, как правило, распределение наблюдаемых данных может быть достаточно хорошо аппроксимировано нормальным распределением.

А.2.2.2 Пик-фактор

Мгновенные значения широкополосного случайного процесса ограничены значением пик-фактора или уровнем отсечки (см. рисунок А.2).

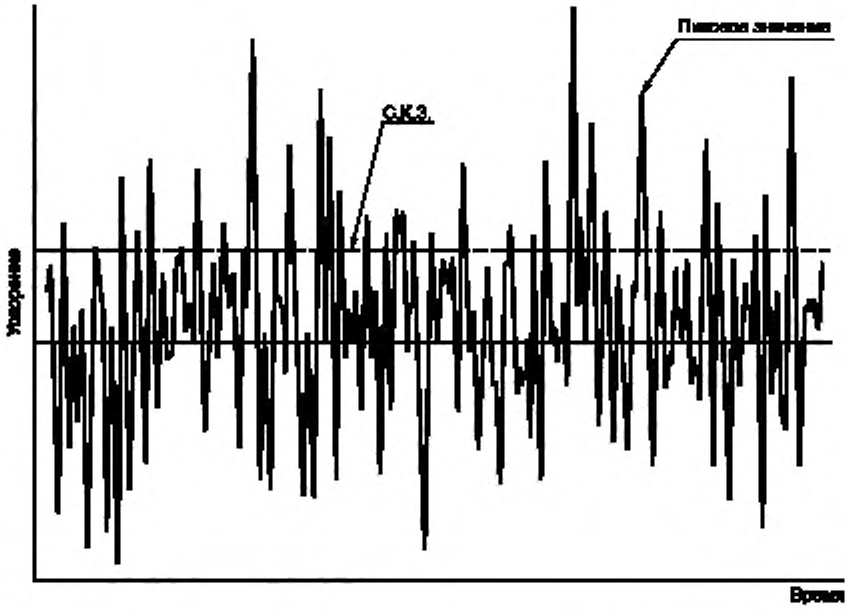


Рисунок А.2 — Отсечка (ограничение) сигнала

Значение пик-фактора, удовлетворяющее требованиям настоящего стандарта, должно быть не менее 2,5 (см. 7.4). Для величины, распределенной по нормальному закону, значение пик-фактора 2,5 означает, что приблизительно 99 % всего сигнала возбуждения будет соответствовать диапазону усилителя мощности.

Однако, если в соответствующем НД установлено, что в области низких частот, скажем, ниже 20 Гц, значение функции спектральной плотности мощности ускорения должно быть выше, соответствующие пиковые значения перемещения могут превышать возможности вибрационной установки. Это может потребовать уменьшения значения пик-фактора до уровня, обеспечивающего удовлетворительные пиковые значения перемещения.

Если форма спектральной плотности мощности ускорения такова, что энергия сигнала сосредоточена, по большей части, в низкочастотной области, тогда при значении пик-фактора не менее 2,5 это может привести к тому, что плотность функции распределения возбуждения будет отличаться от нормальной. В плотности вероятности распределения могут появиться два пика, аналогичные тем, что имеют место для синусоидального сигнала (см. рисунок А.3).

Такая характеристика, как пик-фактор, рассматривается только в отношении выходного управляющего сигнала цифровой системы управления испытаниями, так как различные нелинейности, связанные с усилителем мощности, вибровозбудителем, устройством крепления и самим образцом, могут повлиять на статистические характеристики вибрации в проверочных токах. Такие нелинейности, действующие в широкой полосе частот, находятся обычно за пределами действия системы управления.

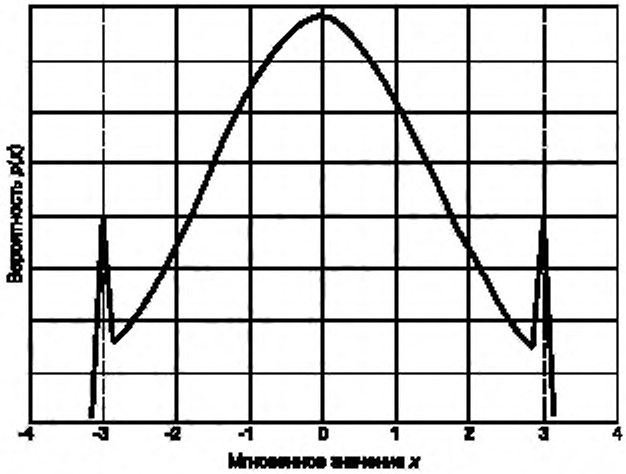


Рисунок А.3 — Негауссовская плотность вероятности распределения

А.2.3 Допуски

А.2.3.1 Допуск на вибрацию

Когда установлены границы значений спектральной плотности мощности ускорения в контрольной точке, следует рассматривать все источники погрешностей, которые при суммировании дают одну общую погрешность. Для того, чтобы выбрать параметры управления статистической погрешностью, необходимо знать следующие составляющие погрешности:

- погрешность измерительной системы (см. А.2.3.2);
- случайную погрешность (см. А.2.3.3);
- погрешность смещения (см. А.2.3.4).

Необходимо определить, какой вклад в общую погрешность должна вносить каждая из указанных погрешностей.

А.2.3.2 Погрешность измерительной системы

Погрешность измерительной системы состоит из погрешностей, вносимых элементами измерительной цепи, которая включает датчик вибрации, соединительный кабель, усилитель, фильтр нижних частот и аналого-цифровой преобразователь. Данную погрешность следует вычесть из общих значений допуска, установленного для данного испытания.

А.2.3.3 Случайная погрешность

При анализе случайной погрешности необходимо особое внимание обратить на погрешности, связанные с конечностью эффективного времени усреднения T_a.

Средний квадрат отклонения спектральной плотности мощности $G(f)$ от ее оценки $\overline{G}(f)$ определяют по формуле

$$E\{[\overline{G}(f) - G(f)]^2\} = \mathrm{Var}[\overline{G}(f)] + b^2[\overline{G}(f)], \qquad (A.2)$$

где $E\{\}$ — обозначение среднего значения;

$\mathrm{Var}[\overline{G}(f)]$ — случайная составляющая среднего квадрата отклонения;

$b^2[\overline{G}(f)]$ — смещение оценки среднего квадрата отклонения.

Случайную составляющую погрешности определяют по формуле

$$\mathrm{Var}[\overline{G}(f)] = \frac{G^2(f)}{B_e T_a}, \qquad (A.3)$$

а нормированную случайную составляющую среднего квадрата отклонения — по формуле

$$E_r^2 = \frac{1}{B_e T_a}. \qquad (A.4)$$

При оценке спектральной плотности мощности ускорения методом быстрого преобразования Фурье (БПФ), применяющемуся в большинстве цифровых систем управления, каждая спектральная составляющая (линия в спектре) будет иметь выборочное χ^2-распределение. Случайную составляющую E_r данной оценки определяют по формуле

$$E_r = \left(\frac{1}{n}\right)^{1/2}, \qquad (A.5)$$

где n — число значений, используемых при усреднении, для выборки из сигнала длительностью T_a.

Таким образом, задав E_r, можно установить соотношение между числом статистических степеней свободы N_d и параметрами анализа

$$N_d = 2n = 2B_eT_a. \quad (A.6)$$

В случае применения экспоненциального усреднения, которое используют, если число итераций очень велико, формула для N_d будет иметь вид

$$N_d = 2(2p-1), \quad (A.7)$$

где p — коэффициент, обратно пропорциональный вкладу последнего слагаемого в оценку среднего значения при экспоненциальном усреднении.

Если при оценке спектральной плотности мощности ускорения на каждом шаге итерации дополнительно проводят n линейных усреднений, формула (А.7) приобретает вид

$$N_d = 2n(2p-1). \quad (A.8)$$

В таблице А.2 и на рисунке А.4 указана оценка точности воспроизведения спектральной плотности мощности ускорения в зависимости от числа степеней свободы для различных значений доверительной вероятности.

Таблица А.2 — Зависимость точности воспроизведения спектральной плотности мощности ускорения от числа степеней свободы для различных значений доверительной вероятности

Число степеней свободы N_d	Границы доверительного интервала							
	Доверительная вероятность, %							
	50		90		95		99	
	дБ	%	дБ	%	дБ	%	дБ	%
30	—0,64	86	—1,64	68	—1,95	64	—2,53	56
	0,86	122	2,10	162	2,52	179	3,38	217
62	—0,47	90	—1,18	76	—1,40	72	—1,83	66
	0,59	115	1,40	138	1,63	146	2,23	167
100	—0,38	91	—0,95	80	—1,12	77	—1,46	71
	0,45	111	1,08	128	1,29	135	1,71	148
120	—0,35	92	—0,87	82	—1,03	79	—1,35	73
	0,41	109	0,98	125	1,17	131	1,56	143
254	—0,25	94	—0,61	87	—0,72	85	—0,95	80
	0,27	106	0,66	116	0,79	120	1,04	127

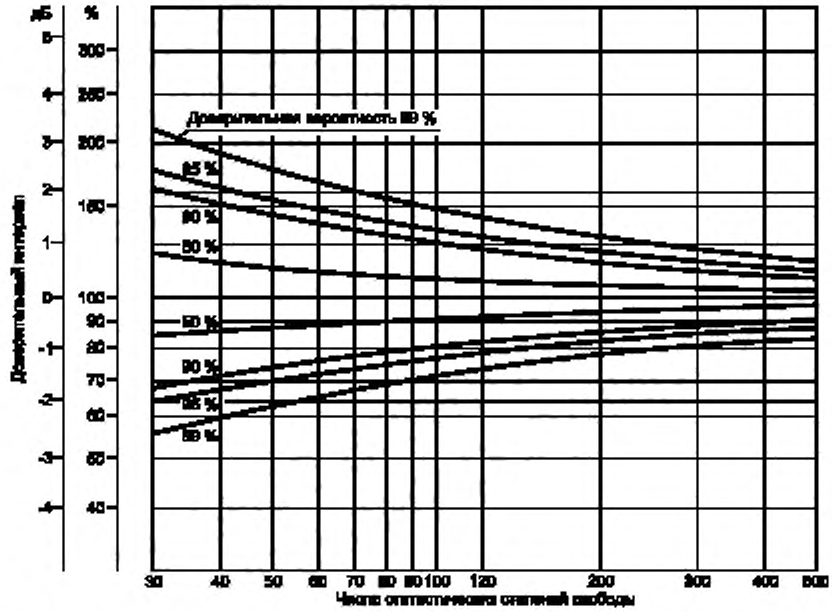


Рисунок А.4 — Доверительные интервалы оценки спектральной плотности мощности ускорения для различных значений доверительной вероятности в зависимости от числа статистических степеней свободы

А.2.3.4 Погрешность смещения

От значения разрешения по частоте B_e зависит не только случайная погрешность, но также и погрешность смещения.

Разрешение по частоте B_e, а следовательно, и погрешность смещения E_b непосредственно зависят от особенностей способа обработки данных.

В первом приближении нормированную погрешность смещения можно определить по формуле

$$E_b = \frac{B_e^2}{24} \times \frac{G''(f)}{G(f)}, \qquad (A.9)$$

где $G''(f)$ — вторая производная спектральной плотности мощности по частоте.

Из формулы (А.9) следует, что

$$E_b = \frac{1}{12}\left(\frac{B_e}{B_r}\right)^2 rW, \qquad (A.10)$$

где r — функция отношения резонансной массы образца к оставшейся части общей подвижной массы, собственной частоты и добротности резонансной системы;

W — корректировочный множитель оконной функции, значение которого зависит от выбора системы управления испытаниями.

В наибольшей степени влияет на величину разрешения по частоте выбор формы оконной функции.

В процессе расчета спектральной плотности мощности ускорения усреднение сигнала проводят после того, как данные выборки были умножены на весовую оконную функцию. Это и определяет зависимость разрешения по частоте от вида окна.

В таблице А.3 приведено значение корректировочного множителя W для некоторых типичных оконных функций.

Таблица А.3 — Типы оконных функций и соответствующие значения корректировочного множителя W

Вид окна	Корректировочный множитель W
Прямоугольное	1,00
Треугольное	1,33
Хэмминг (0,54 + 0,46 cos χ)	1,36
Хэннинг (0,5 + 0,5 cos χ)	1,50
Блэкмана-Харриса (4 слагаемых)	2,00

А.2.4 Спад спектральной плотности в начале и в конце диапазона измерений

В настоящем стандарте установлено требование к постоянству спектральной плотности мощности ускорения возбуждаемой вибрации в заданном диапазоне частот от f_1 до f_2 (см. рисунок 2). Но на практике испытания всегда проводят при наличии участков начального и конечного спадов характеристики. Чтобы при этом среднее квадратическое значение ускорения оставалось наиболее близким к заданному, спады характеристики должны быть как можно более крутыми.

Обычно крутизна спада в начале характеристики составляет 6 дБ/октава и более. В случаях, когда значение спектральной плотности мощности ускорения на частоте f_1 велико, и необходимо уменьшить амплитуду перемещения, чтобы она соответствовала имеющимся возможностям испытательного оборудования (вибростенда), начальный спад должен быть более пологим. Расчет амплитуды случайного перемещения приведен в А.2.5.

Как правило, современное цифровое испытательное оборудование позволяет получить динамический диапазон для двух соседних спектральных линий в спектре мощности ускорения порядка 8 дБ. Для получения более крутого спада характеристики может потребоваться использование более высокого разрешения по частоте, чем это изначально предусматривалось. Если это невозможно или если максимально достижимая крутизна спада не обеспечивает требуемого уменьшения перемещения, нижняя граница допуска для спектральной плотности мощности ускорения может быть продолжена в область более низких частот.

Для спада в конце характеристики вышеупомянутой проблемы не существует, поэтому его задают как часть установленной формы спектральной плотности мощности ускорения в диапазоне частот выше f_2. Крутизна спада в области высоких частот должна быть не менее минус 24 дБ/октава.

А.2.5 Расчет среднего квадратического значения ускорения, скорости и перемещения

Общее среднее квадратическое значение ускорения, скорости и перемещения в эффективном диапазоне частот измерений представляет собой квадратный корень из суммы средних квадратов значений этих величин в соответствующих поддиапазонах (между двумя спектральными линиями). Каждый из таких поддиапазонов определяется значением спектральной плотности мощности S образующих его спектральных линий, шириной полосы частот между этими линиями и крутизной спада характеристики M между этими линиями.

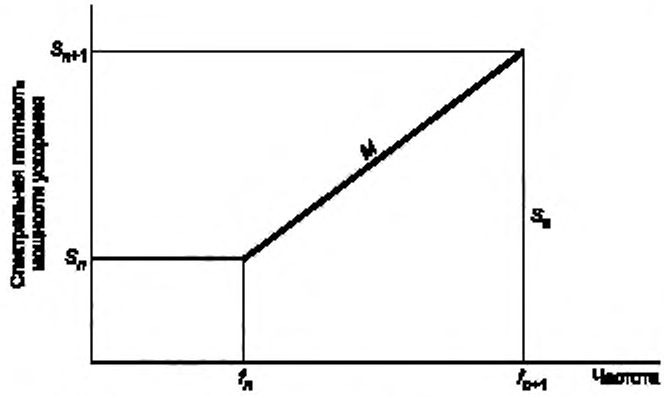


Рисунок А.5 — График спектральной плотности мощности ускорения в полосе частот

Средние квадраты значений могут быть рассчитаны по следующим формулам (индексы n и $n+1$ — в соответствии с рисунком А.5), где S выражено в $(м/с^2)^2/Гц$, а f — в Гц.

а) Средний квадрат ускорения A^2, $(м/с^2)^2$, определяют по формулам:

для $M \neq$ минус 3

$$A^2 = \frac{3\,S_{n+1}}{M+3}\left[f_{n+1} - f_n \left(\frac{f_n}{f_{n+1}}\right)^{M/3} \right]; \qquad (A.11)$$

для $M =$ минус 3

$$A^2 = (S_{n+1})\,(f_{n+1})\left[\ln\left(\frac{f_{n+1}}{f_n}\right)\right]; \qquad (A.12)$$

для $M = 0$

$$A^2 = S_n(f_{n+1} - f_n), \qquad (A.13)$$

б) Средний квадрат скорости V^2, $(м/с)^2$, определяют по формулам:

для $M \neq 3$

$$V^2 = \left(\frac{1}{2\pi}\right)^2 \frac{3\,S_{n+1}}{M-3}\left[\frac{1}{f_{n+1}} - \frac{1}{f_n}\left(\frac{f_n}{f_{n+1}}\right)^{M/3}\right]; \qquad (A.14)$$

для $M = 3$

$$V^2 = \left(\frac{1}{2\pi}\right)^2 \frac{S_{n+1}}{f_{n+1}}\left[\ln\left(\frac{f_{n+1}}{f_n}\right)\right]. \qquad (A.15)$$

в) Средний квадрат перемещения D^2, $мм^2$, определяют по формулам:

для $M \neq 9$

$$D^2 = \left(\frac{10^3}{4\pi^2}\right)^2 \frac{3\,S_{n+1}}{M-9}\left[\frac{1}{f_{n+1}^3} - \frac{1}{f_n^3}\left(\frac{f_n}{f_{n+1}}\right)^{M/3}\right]; \qquad (A.16)$$

для $M = 9$

$$D^2 = \left(\frac{10^3}{4\pi^2}\right)^2 \frac{S_{n+1}}{f_{n+1}^3}\left[\ln\left(\frac{f_{n+1}}{f_n}\right)\right]. \qquad (A.17)$$

Данные формулы справедливы, если спад на графике, где обе координаты отложены в логарифмическом масштабе, имеет вид прямой линии. В данном случае крутизна спада M определяется по формуле

$$M = 3\,\frac{\log\left(\frac{S_{n+1}}{S_n}\right)}{\log\left(\frac{f_{n+1}}{f_n}\right)}. \qquad (A.18)$$

А.3 Метод проведения испытаний

Целью испытаний на виброустойчивость является демонстрация способности образца выдерживать воздействие вибрации и нормально функционировать при определенном уровне вибрационного возбуждения. Такое испытание должно продолжаться только в течение времени, достаточного для демонстрации образцом указанных способностей в заданном диапазоне частот. При проведении испытаний на вибропрочность, когда необходимо определить способность образца противостоять кумулятивным эффектам вибрационного воздействия, таким как накопление усталости или механической деформации, длительность испытаний должна быть достаточной для того, чтобы обеспечить необходимое число циклов изменения механического напряжения, даже если она выходит за предельные значения, указанные в 7.8.5.

При испытаниях на воздействие вибрации оборудование, которое в обычных условиях эксплуатации устанавливают на виброизоляторах, испытывается, как правило, вместе с виброизоляторами. Если невозможно провести испытания оборудования с его собственными виброизоляторами, например, если это оборудование смонтировано вместе с другим с помощью общего крепления, данное оборудование допускается испытывать без виброизоляторов, но при другой степени жесткости условий испытаний, которая должна быть определена в соответствующем НД. Амплитуду вибрации задают с учетом коэффициента передачи виброизолирующей системы по каждому из направлений возбуждения вибрации. Если характеристики виброизолятора неизвестны, следует руководствоваться положениями, изложенными в А.4.1.

В соответствующем НД может быть требование проведения дополнительного испытания образца со снятыми или блокированными наружными виброизоляторами, проводимого в случае, если необходимо установить соответствие минимальным требованиям по вибропрочности. В этом случае в НД должна быть указана степень жесткости условий данного испытания.

А.4 Оборудование, предназначенное для использования вместе с виброизоляторами

А.4.1 Коэффициент передачи для виброизоляторов

При невозможности проведения испытаний образца вместе с виброизоляторами, которыми оно обычно снабжено в условиях эксплуатации, а характеристики этих виброизоляторов неизвестны, установленный уровень вибрации необходимо изменить таким образом, чтобы создать условия вибрационного воздействия на образец, наиболее приближенные к реальным условиям. Рекомендуется для этого использовать кривые, изображенные на рисунке А.6:

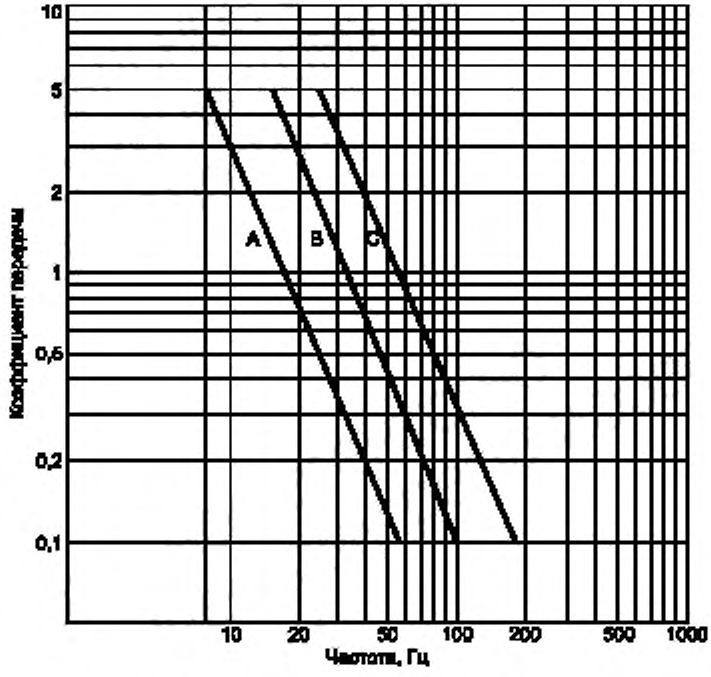


Рисунок А.6 — Коэффициент передачи виброизолятора

а) кривая *А* соответствует нагруженному виброизолятору с высокой степенью упругости. Представляемый в виде системы с одной степенью свободы виброизолятор имеет резонансную частоту не выше 10 Гц;

б) кривая *В* соответствует нагруженному виброизолятору со средней степенью упругости. Представляемый в виде системы с одной степенью свободы виброизолятор имеет резонансную частоту в диапазоне от 10 до 20 Гц;

в) кривая *С* соответствует нагруженному виброизолятору с низкой степенью упругости. Представляемый в виде системы с одной степенью свободы виброизолятор имеет резонансную частоту в диапазоне от 20 до 35 Гц.

Кривая *В* получена на основе измерений вибрации обычного авиационного оборудования, установленного с помощью металлического крепления, обладающего высокими демпфирующими свойствами и собственной частотой примерно 15 Гц (при его представлении в виде системы с одной степенью свободы).

Поскольку число имеющихся данных, необходимых для построения кривых *А* и *С*, весьма ограничено, при их построении использовалась экстраполяция кривой *В* в области, соответствующие резонансным частотам 8 и 25 Гц.

Кривые коэффициента передачи получены аппроксимацией данных, собранных на установках, в которых, вполне вероятно, имело место взаимодействие различных мод вибрации. Поэтому использование данных кривых может привести к повышенному уровню вибрации на удаленных участках образца, обусловленному совместным действием поступательного и углового движения.

Из всех кривых, представленных на рисунке А.6, следует выбрать наиболее подходящую. Для случая возбуждения случайной вибрацией заданную спектральную плотность мощности ускорения следует умножать на квадрат значения данной кривой по всему диапазону частот испытаний.

Полученный в результате такого умножения уровень вибрации может оказаться таким, что его невозможно будет воспроизвести в лабораторных условиях. В этом случае уровень вибрации должен быть скорректирован таким образом, чтобы обеспечить возбуждение сигналом с максимально возможным значением спектральной плотности мощности ускорения во всем диапазоне частот. При этом важно, чтобы все реальные условия испытаний были отражены в протоколе испытаний.

А.4.2 Влияние температуры

Необходимо отметить, что в состав многих виброизоляторов входят материалы, свойства которых зависят от температуры. Если собственная резонансная частота образца на виброизоляторах попадает в диапазон частот испытаний, температура материалов может повышаться в результате рассеяния в нем при вибрации тепловой энергии. В этом случае оператор должен уметь определить время выдержки, в течение которого к образцу будет приложено заданное возбуждение. Если нецелесообразно подвергать образец длительному возбуждению, следует предусмотреть перерывы для его восстановления. Если известно реальное распределение времени возбуждения образца на данной резонансной частоте в процессе эксплуатации, следует попытаться смоделировать его в процессе испытаний. Если же такое распределение неизвестно, то испытания следует проводить таким образом, чтобы избегать чрезмерного нагрева путем ограничения длительности периодов возбуждения.

УДК 534.1:006.354 ОКС 17.160 Т34 ОКСТУ 0011

Ключевые слова: вибрация, вибрационные испытания, вибропрочность, виброустойчивость, машины, приборы, измерения, частотная характеристика, степень жесткости испытаний

Редактор *Т.А. Леонова*
Технический редактор *Н.С. Гришанова*
Корректор *М.И. Першина*
Компьютерная верстка *В.И. Грищенко*

Изд. лиц. № 021007 от 10.08.95. Сдано в набор 15.02.2000. Подписано в печать 22.03.2000. Усл. печ. л. 2,32.
Уч.-изд. л. 2,25. Тираж 245 экз. С 4746. Зак. 258.

ИПК Издательство стандартов, 107076, Москва, Колодезный пер., 14.
Набрано в Издательстве на ПЭВМ
Филиал ИПК Издательство стандартов — тип. "Московский печатник", 103062, Москва, Лялин пер., 6.
Плр № 080102

gost.e-ecolog.ru