МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СОВЕТ ПО СТАНДАРТИЗАЦИИ, МЕТРОЛОГИИ И СЕРТИФИКАЦИИ
(МГС)

INTERSTATE COUNCIL FOR STANDARDIZATION, METROLOGY AND CERTIFICATION
(ISC)

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

ГОСТ 31419— 2010 (IEC 60068-2-80:2005)

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

ИСПЫТАНИЯ НА ВИБРАЦИЮ С ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕМ ВОЗДЕЙСТВИЙ НЕСКОЛЬКИХ ТИПОВ

IEC 60068-2-80:2005
Environmental testing — Part 2-80: Tests — Test Fi: Vibration — Mixed mode
(MOD)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2012

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

Цели, основные принципы и основной порядок проведения работ по межгосударственной стандартизации установлены ГОСТ 1.0—92 «Межгосударственная система стандартизации. Основные положения» и ГОСТ 1.2—2009 «Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Правила разработки, принятия, применения, обновления и отмены»

Сведения о стандарте

1 ПОДГОТОВЛЕН Автономной некоммерческой организацией «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем» (АНО «НИЦ КД») на основе собственного аутентичного перевода на русский язык международного стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии

3 ПРИНЯТ Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 10 июня 2010 г. № 37)

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	Минторэкономразвития
Беларусь	BY	Госстандарт Республики Беларусь
Казахстан	KZ	Госстандарт Республики Казахстан
Киргизия	KG	Кыргызстандарт
Молдова	MD	Молдова-Стандарт
Российская Федерация	RU	Росстандарт
Узбекистан	UZ	Узстандарт
Украина	UA	Госпотребстандарт Украины

4 Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к международному стандарту МЭК 60068-2-80:2005 «Испытания на воздействие внешних факторов. Часть 2-80. Испытания. Испытание Fi. Вибрация, сочетающая воздействия разных типов» (IEC 60068-2-80:2005 «Environmental testing — Part 2-80: Tests — Test Fi: Vibration — Mixed mode») путем внесения технических отклонений, объяснение которых приведено во введении к настоящему стандарту.

Настоящий стандарт идентичен ГОСТ Р 53189—2008

5 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 13 октября 2011 г. № 447-ст

6 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Информация о введении в действие (прекращении действия) настоящего стандарта публикуется в указателе «Национальные стандарты».

Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в указателе «Национальные стандарты», а текст изменений — в информационных указателях «Национальные стандарты». В случае пересмотра или отмены настоящего стандарта соответствующая информация будет опубликована в информационном указателе «Национальные стандарты»

© Стандартинформ, 2012

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 . . . 2
4 Общие требования к испытаниям . . . 5
5 Требования к воспроизводимой вибрации . . . 6
6 Степень жесткости условий испытаний . . . 11
7 Начальная стабилизация . . . 13
8 Начальные измерения . . . 13
9 Проведение испытаний . . . 13
10 Промежуточные измерения . . . 15
11 Конечная стабилизация . . . 15
12 Заключительные измерения . . . 15
13 Сведения, приводимые в соответствующем нормативном документе . . . 15
14 Сведения, приводимые в протоколе испытаний . . . 16
Приложение А (справочное) Общие сведения об испытаниях с сочетанием разных видов вибрационных воздействий . . . 17
Приложение В (рекомендуемое) Руководство по проведению испытаний . . . 23

Введение

Настоящий стандарт устанавливает метод испытаний на вибропрочность и виброустойчивость машин и оборудования всех видов, которые в процессе эксплуатации подвержены воздействию широкополосной вибрации сложной формы.

Метод испытаний предусматривает использование цифровых систем управления для воспроизведения широкополосной случайной вибрации в сочетании с гармонической и (или) узкополосной случайной вибрацией. Для реализации данного метода используют преимущественно вибростенды электродинамического или гидравлического типа.

Результаты вибрационных испытаний зависят от квалификации проводящего их персонала, о чем должны быть осведомлены и заказчик, и исполнитель испытаний. При составлении методики испытаний в качестве воспроизводимого возбуждения следует указывать вибрационные воздействия тех видов, которые соответствуют реальным условиям применения изделия.

По сравнению с международным стандартом МЭК 60068-2-80:2005 настоящий стандарт дополнен ссылками, выделенными курсивом и указывающими его место в комплексе стандартов ГОСТ 30630, объединенных общим групповым заголовком «Методы испытаний на стойкость к внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий».

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

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

ИСПЫТАНИЯ НА ВИБРАЦИЮ С ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕМ ВОЗДЕЙСТВИЙ НЕСКОЛЬКИХ ТИПОВ

Environmental dynamic test methods for machines, instruments and other technical articles.
Mixed mode vibration tests

Дата введения — 2011—11—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на машины, приборы и другие технические изделия всех видов (далее — изделия) и устанавливает требования к испытаниям по проверке их способности противостоять воздействию широкополосной вибрации сложной формы.

Целью испытаний является подтверждение способности изделия выдерживать вибрационные воздействия, установленные стандартами или техническими условиями на продукцию (далее — нормативные документы), без существенных повреждений (испытания на вибропрочность) и ухудшений его эксплуатационных характеристик (испытания на виброустойчивость). При этом рекомендуется при задании воспроизводимой вибрации использовать данные измерений, проведенных в реальных условиях применения изделия.

Испытания, проводимые в соответствии с настоящим стандартом, позволяют обнаружить усталостные повреждения, являющиеся следствием воздействия широкополосной вибрации сложной формы, для оценки пригодности изделия. Кроме того, настоящий стандарт может быть использован в целях демонстрации механической прочности конструкции изделия.

Настоящий стандарт предназначен для применения при проведении испытаний образцов изделий, которые в процессе транспортировки или эксплуатации (например, на воздушном судне или космическом корабле) могут быть подвержены воздействию вибрации случайного характера в сочетании с другими видами случайных или детерминированных воздействий, а также при испытаниях изделий в транспортировочном контейнере, если последний можно рассматривать как составную часть изделия.

Настоящий стандарт применяют совместно с ГОСТ 30630.0.0, в котором установлены общие требования к проведению испытаний на воздействие внешних факторов.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ 24346—80 Вибрация. Термины и определения (ИСО 2041:1990 «Вибрация и удар. Термины и определения», NEQ)

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

ГОСТ 30630.1.2—99 Методы испытаний на стойкость к механическим внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Испытания на воздействие вибрации (МЭК 60068-2-6:1995 «Испытания на воздействие внешних факторов. Часть 2-6. Испытания. Испытание Fc. Вибрация (гармоническая)» , NEQ)

Издание официальное

ГОСТ 30630.1.9—2002 (МЭК 60068-2-64:1993) 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 (МЭК 60068-2-64:1993 «Испытания на воздействие внешних факторов. Часть 2-64. Методы испытаний. Испытание Fh. Широкополосная случайная вибрация (с цифровым управлением) и руководство», MOD)

Примечание — При пользовании настоящим стандартом целесообразно проверить действие ссылочных стандартов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет или по ежегодно издаваемому информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по соответствующим ежемесячно издаваемым информационным указателям, опубликованным в текущем году. Если ссылочный стандарт заменен (изменен), то при пользовании настоящим стандартом следует руководствоваться заменяющим (измененным) стандартом. Если ссылочный стандарт отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, применяется в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ 24346 и *ГОСТ 30630.0.0*, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **поперечная вибрация** (cross axis motion): Вибрация, действующая в направлении, отличном от заданного (определяемая обычно в плоскости, перпендикулярной к заданному направлению движения).

3.2 **действующая вибрация** (actual motion): Вибрация, характеризуемая сигналом с датчика, установленного в контрольной точке.

3.3 **точка крепления** (fixing point): Часть образца, находящаяся в контакте с крепежным приспособлением или вибростолом в том месте, где изделие обычно закрепляют при эксплуатации.

Примечание — Если в испытаниях для установки образца используют устройство, применяемое на месте эксплуатации изделия, то точку крепления определяют на этом устройстве, а не на образце.

3.4 **управление** (control)

3.4.1 **одноточечное управление** (single point control): Управление по сигналу с датчика вибрации, установленного в контрольной точке, для поддержания вибрации в этой точке на заданном уровне.

3.4.2 **многоточечное управление** (multipoint control): Управление по нескольким сигналам, усредняемым аналоговым или другим подходящим способом (см. 3.9), с датчиков вибрации, установленных в проверочных точках.

3.5 **стандартизованное ускорение свободного падения** (standard acceleration due to gravity); g_n: Ускорение свободного падения, которое, применительно к настоящему стандарту, округлено до ближайшего целого числа, т. е. 10 м/с^2.

3.6 **точки измерений** (measuring points): Специально выбранные точки, в которых проводят сбор данных при проведении испытаний.

3.6.1 **проверочная точка** (check point): Точка на крепежном приспособлении, на вибростоле или на образце, расположенная как можно ближе к одной из точек крепления и соединенная с ней жесткой связью.

Примечания

1 С целью убедиться в точном соблюдении требований испытаний используют несколько проверочных точек.

2 Если число точек крепления не более четырех, каждую из этих точек следует использовать в качестве проверочной. Если число точек крепления более четырех, в соответствующем нормативном документе должны быть определены четыре наиболее представительные точки, которые будут использованы в качестве проверочных.

3 В особых случаях, например для больших образцов или образцов сложной формы, когда проверочные точки не могут находиться вблизи точек крепления, положение проверочных точек должно быть определено соответствующим нормативным документом.

4 При испытании большого числа образцов небольших размеров, установленных с помощью одного крепежного приспособления, или при испытании образца небольшого размера, имеющего несколько точек крепления, управление может осуществляться по сигналу с датчика, установленного в одной проверочной (она же контрольная) точке. При этом сигнал управления будет в большей степени характеризовать вибрацию крепежного приспособления, а не образца в точках крепления. Это допустимо только в том случае, если частота низшего резонанса нагруженного крепежного приспособления значительно превышает верхнюю границу диапазона частот испытаний.

3.6.2 **контрольная точка** (reference point): Одна из проверочных точек, сигнал с которой используют для управления режимом испытаний таким образом, чтобы удовлетворить требованиям настоящего стандарта.

3.6.3 **воображаемая контрольная точка** (fictitious reference point): Условная точка, которой приписан некоторый сигнал, сформированный по сигналам вибрации в проверочных точках и используемый для управления режимом испытаний таким образом, чтобы удовлетворить требованиям настоящего стандарта.

3.6.4 **точки измерения отклика** (response points): Точки на образце, в которых проводят сбор данных для исследования частотной характеристики образца.

Примечание — Эти точки не совпадают с проверочными или контрольными точками.

3.7 **предпочтительные направления воздействия вибрации** (preferred testing axes): Три взаимно ортогональных направления, выбираемых таким образом, чтобы при воздействии вибрации в этих направлениях вероятность повреждения образца была максимальной.

3.8 **частота выборки** (sampling frequency): Число выборочных значений сигнала в единицу времени (секунду) при записи или представлении сигнала в цифровом виде.

3.9 **стратегии многоточечного управления** (multipoint control strategies): Методы формирования сигнала управления в частотной области при многоточечном управлении (см. также 3.4.2).

3.9.1 **управление по среднему значению** (averaging strategy): Способ определения сигнала управления путем усреднения для каждой частотной составляющей по всем проверочным точкам.

3.9.2 **управление по экстремальному значению** (extremal strategy): Способ определения сигнала управления путем выбора экстремального значения контролируемого параметра для каждой частотной составляющей по всем проверочным точкам.

3.10 **MAX/SUM**: Способ задания спектральной плотности ускорения (см. 3.14) для узкополосной случайной вибрации, воспроизводимой в условиях испытаний на фоне широкополосной случайной вибрации.

Примечание — MAX означает, что спектральная плотность ускорения воспроизводимого сигнала представляет собой огибающую наложенных друг на друга спектральных плотностей ускорения широкополосного и узкополосного случайных сигналов; SUM означает, что спектральная плотность ускорения воспроизводимого сигнала представляет собой сумму спектральных плотностей ускорения широкополосного и узкополосного случайных сигналов.

3.11 **пик-фактор** (crest factor): Отношение пикового значения к среднеквадратичному значению сигнала.

3.12 **стратегия суперпозиции** (super positional strategy): Стратегия, определяющая метод расчета спектральной плотности ускорения воспроизводимой вибрации для каждой частотной составляющей по заданному гармоническому сигналу и спектральной плотности ускорения случайного сигнала.

3.13 **ширина пика на уровне минус 3 дБ** (–3 dB bandwidth): Ширина полосы частот между двумя точками частотной характеристики, расположенными на уровне 0,708 ее максимального значения, в предположении, что частотная характеристика в данной полосе частот описывает пик одиночного резонанса.

3.14 **спектральная плотность ускорения** (acceleration spectral density); СПУ: Функция частоты, определяемая как предельное отношение среднего квадрата значения сигнала ускорения после его прохождения через узкополосный фильтр, среднегеометрическая частота которого совпадает с заданной, к ширине полосы фильтра при стремлении ширины полосы к нулю, а времени усреднения — к бесконечности.

3.15 **смещение** (bias error): Систематическая погрешность оценки спектральной плотности ускорения случайного сигнала или амплитуды гармонического сигнала.

Примечание — Для случайного сигнала смещение обусловлено конечным разрешением сигнала по частоте, которое присуще используемому методу обработки, а для гармонического сигнала (в смеси со случайным шумом) — конечностью интервала усреднения.

3.16 **спектральная плотность ускорения сигнала управления** (control acceleration spectral density): Спектральная плотность ускорения сигнала, измеренного в контрольной точке (реальной или воображаемой).

3.17 **цепь системы управления** (control system loop): Электронный тракт, позволяющий выполнять совокупность следующих операций:

- оцифровку сигнала в контрольной точке;
- процедуру обработки сигнала;

- преобразование обработанного сигнала в аналоговую форму для подачи на усилитель мощности виброустановки [см. также раздел В.1 (приложение В)].

3.18 **отсечка [клиппирование] задающего сигнала** (drive signal clipping): Ограничение максимального значения задающего сигнала на уровне, определяемом значением пик-фактора.

3.19 **эффективный диапазон частот испытаний** (effective frequency range): Диапазон между частотами ниже f_1 и выше f_2 (рисунок 1), составляющие которых реально присутствуют в сигнале вследствие недостаточно резкого спада кривой спектральной плотности ускорения.

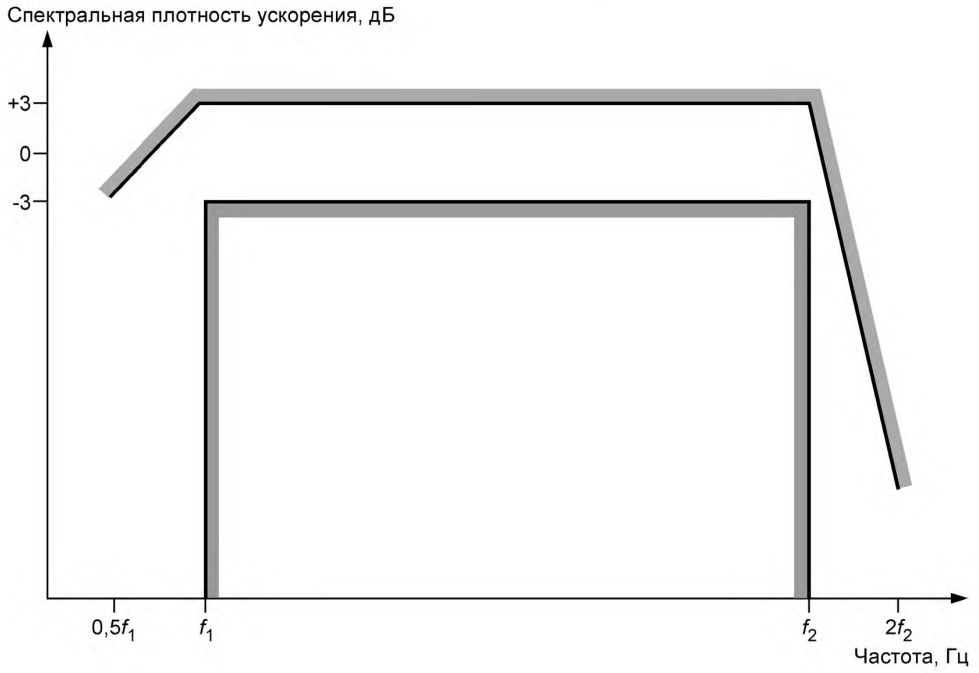


Рисунок 1 — Границы спектральной плотности ускорения (см. также 5.1.1)

3.20 **погрешность воспроизведения спектральной плотности ускорения** (error acceleration spectral density): Разность между заданной спектральной плотностью ускорения и спектральной плотностью ускорения сигнала управления.

3.21 **коррекция** (equalization): Процедура приведения к минимуму погрешности воспроизведения спектральной плотности ускорения.

3.22 **спад на высоких частотах** (final slope): Участок заданной спектральной плотности ускорения на частотах выше f_2 (см. рисунок 1).

3.23 **разрешение по частоте** (frequency resolution): Ширина интервала приращения частоты в представлении спектральной плотности ускорения (выражаемая в герцах).

Примечание — Эта величина обратно пропорциональна длине записи сигнала, используемой в цифровом анализе. Число интервалов приращения совпадает с числом спектральных линий в данном диапазоне частот.

3.24 **наблюдаемая спектральная плотность ускорения** (indicated acceleration spectral density): Оценка спектральной плотности ускорения на считывающем устройстве анализатора, включающая в себя инструментальную погрешность, случайную погрешность и смещение.

3.25 **спад на низких частотах** (initial slope): Участок заданной спектральной плотности ускорения на частотах ниже f_1 (см. рисунок 1).

3.26 **инструментальная погрешность** (instrumental error): Совокупность погрешностей, вносимых каждым аналоговым устройством входной части системы управления и каждым аналоговым устройством в составе системы управления.

3.27 **случайная погрешность** (random error): Погрешность оценки спектральной плотности ускорения, изменяющаяся от одного измерения к другому и обусловленная конечным временем усреднения сигнала и конечной шириной полосы фильтрации.

3.28 **запись сигнала** (record): Совокупность отсчетов процесса, взятых через равные промежутки времени, которую используют при реализации процедуры быстрого преобразования Фурье.

3.29 **воспроизводимость** (reproducibility): Близость результатов измерений одной и той же величины с одним и тем же значением, проводимых:

- разными методами;
- с использованием разных средств измерений;
- разными операторами;
- в разных испытательных лабораториях;
- в разные моменты времени, интервал между которыми значительно больше времени проведения одного измерения;
- разными способами применения имеющихся средств испытаний и измерений.

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

3.30 **среднеквадратичное значение** (root-mean-square value): Квадратный корень из среднего значения квадрата функции на заданном интервале (для спектральной плотности таким интервалом является полоса частот между f_1 и f_2 — см. рисунок 1).

Примечание — В данном методе испытаний среднеквадратичное значение может быть рассчитано для разных видов возбуждения: чисто широкополосного случайного процесса, совокупности широкополосного случайного и гармонического процессов (SoR) или совокупности двух случайных процессов (RoR) — см. В.2.4 (приложение В).

3.31 **контролируемый параметр** (signal value): Значение спектральной плотности ускорения для случайной составляющей воспроизводимого процесса или амплитуды для гармонической составляющей воспроизводимого процесса.

3.32 **стандартное отклонение** (standard deviation): Характеристика случайного временного сигнала, которая для сигнала вибрации совпадает со среднеквадратичным значением (поскольку среднее значение сигнала вибрации принимают равным нулю).

3.33 **статистическая точность** (statistical accuracy): Отношение истинной спектральной плотности ускорения к наблюдаемой.

Примечание — Данную характеристику применяют только в отношении случайной составляющей воспроизводимого процесса.

3.34 **статистическая степень свободы** (statistical degrees of freedom): Величина, характеризующая свойства оценки спектральной плотности ускорения, получаемой по случайным отсчетам методом усреднения по времени, и зависящая от разрешения по частоте и времени усреднения.

3.35 **цикл качания (частоты)** (sweep cycle): Перемещение (развертка) по заданному диапазону частот по одному разу в каждом из направлений (например, от 5 до 500 Гц и обратно до 5 Гц).

Примечание — В противоположность циклу качания частоты одиночная развертка по частоте означает движение по диапазону частот только в одном направлении: в сторону возрастания или убывания частоты.

3.36 **скорость качания (частоты)** (sweep rate): Скорость изменения частоты гармонического сигнала, измеряемая либо в октавах в минуту (октава/мин), либо в герцах в секунду (Гц/с).

3.37 **истинная спектральная плотность ускорения** (true acceleration spectral density): Спектральная плотность ускорения, воздействующего на образец.

4 Общие требования к испытаниям

4.1 Общие положения

Устанавливаемые требования к испытательному оборудованию относятся ко всему испытательному оборудованию в целом. В случае вибрационной установки электродинамического или гидравлического типа это оборудование включает в себя усилитель мощности, вибростенд с устройством крепления образца и систему управления.

Колебания вибростола в заданном и поперечном направлениях следует либо проверить до начала испытаний, либо контролировать в ходе испытаний с помощью дополнительного канала в системе управления. В нормативном документе на испытания должны быть определены уровни воспроизводимой вибрации и последовательность действий во время испытаний.

Стандартизованный метод испытаний включает в себя следующие этапы (применительно к возбуждению в каждом из заданных направлений):

- начальные измерения для определения динамической характеристики образца при низком уровне возбуждения гармонической или случайной вибрацией (см. также 5.4 и 9.2);
- выдержку образца при воздействии вибрацией в заданном режиме;
- заключительные измерения для повторного определения динамической характеристики образца (см. 9.5) и сравнения ее с результатом, полученным на этапе начальных измерений, в целях выявления возможных механических повреждений.

Если динамическое поведение испытуемого объекта хорошо известно или не представляет интереса, то нормативный документ может не устанавливать требований к исследованию динамической характеристики или установить их в ограниченном объеме.

4.2 Система управления

Управление испытаниями требует применения специального программного обеспечения, позволяющего проводить анализ данных и управление испытаниями в разных режимах возбуждения.

4.3 Воспроизводимое движение

Установленные нормативным документом на испытания воспроизводимые колебания во всех точках крепления образца должны быть приблизительно одинаковыми и поступательными. Если условие идентичности колебаний в разных точках крепления выполнить не удается, применяют многоточечное управление испытаниями.

Воспроизводимое движение должно иметь гауссовское распределение для случайной составляющей и быть гармоническим для периодической составляющей вибрации.

4.4 Поперечная вибрация

Поперечную вибрацию либо проверяют до проведения испытаний, возбуждая образец случайной или гармонической вибрацией, уровень которой установлен нормативным документом, либо контролируют во время испытаний, используя для этого дополнительный канал системы управления.

Значение контролируемого параметра на каждой частоте в каждой проверочной точке и в каждом из направлений, перпендикулярных к направлению основного движения, не должно превышать установленного значения в диапазоне частот свыше 500 Гц, а в диапазоне частот до 500 Гц не должно превышать уровня, который на 3 дБ ниже этого установленного значения. Среднеквадратичное значение ускорения (во всей полосе частот) для любого направления, перпендикулярного к заданному направлению движения, не должно превышать 50 % этой величины для заданного направления движения. Например, для образцов небольших размеров нормативным документом может быть установлено требование, чтобы значение контролируемого параметра поперечной вибрации не превышало значение этого же параметра для воспроизводимого движения, уменьшенное на 3 дБ.

Для образцов больших размеров или большой массы может оказаться затруднительным выполнение ограничений на поперечную вибрацию во всем диапазоне частот испытаний. Трудности в выполнении установленных ограничений могут возникнуть также и в том случае, если нормативным документом предписано проводить испытания в широком динамическом диапазоне. В этом случае в нормативном документе должна быть использована одна из следующих формулировок: «поперечная вибрация, превышающая заданный уровень, должна быть зафиксирована и указана в протоколе испытаний» или «контроль поперечной вибрации не проводят».

4.5 Установка образца

Образец должен быть закреплен на вибростоле в соответствии с требованиями ГОСТ 30630.0.0.

4.6 Измерительная система

Характеристики измерительной системы должны предусматривать возможность проверки выполнения условия, что истинное значение параметра вибрации в контрольной точке в заданном направлении движения не выходит за пределы установленного допуска.

На точность измерений оказывает существенное влияние частотная характеристика измерительной цепи, включающей в себя датчик вибрации, согласующее устройство и устройства сбора и обработки данных. Нижняя граница диапазона частот измерительной системы не должна превышать 0,5 f_1, а верхняя граница — не должна быть менее 2 f_2 (см. рисунок 1). В указанном диапазоне частот амплитудно-частотная характеристика измерительной системы должна быть постоянной в пределах $\pm$ 5 %.

5 Требования к воспроизводимой вибрации

Метод испытаний, установленный настоящим стандартом, предусматривает воздействие на образец широкополосной случайной вибрацией в сочетании либо с узкополосной случайной вибрацией, либо с гармонической вибрацией, либо с вибрацией обоих указанных типов. Нормативным документом может быть предусмотрено, что возбуждение узкополосной случайной или гармонической вибрацией осуще-

ствляют с качанием частоты в заданном диапазоне. При проведении испытаний данного вида необходимо принимать во внимание следующее.

В нормативном документе должен быть установлен способ задания степени жесткости условий испытаний для случайной вибрации: MAX или SUM.

Спектр ускорения может представлять собой:

- суперпозицию спектров широкополосной случайной вибрации, узкополосной случайной вибрации и гармонических составляющих для систем управления, в которых гармонический сигнал задается в виде спектральной линии;
- суперпозицию спектров широкополосной случайной вибрации и узкополосной случайной вибрации, а также независимые гармонические колебания для систем управления, в которых гармонический сигнал генерируется непрерывно в частотной области.

5.1 Допуски на характеристики случайной вибрации

5.1.1 Вибрация в проверочных и контрольной точках

Инструментальная погрешность оценки спектральной плотности ускорения в контрольной и проверочной точках на интервале частот от f_1 до f_2 не должна выходить за пределы ± 3 дБ относительно заданной спектральной плотности ускорения. Данный допуск не учитывает случайную погрешность и смещение. Характеристики случайной погрешности могут быть рассчитаны по результатам испытаний.

Среднеквадратичное значение ускорения в диапазоне от f_1 до f_2, измеренное непосредственно или полученное расчетным способом, не должно отличаться более чем на ± 10 % от среднеквадратичного значения для заданной спектральной плотности ускорения. Это относится к сигналу как в реальной, так и в воображаемой контрольной точке.

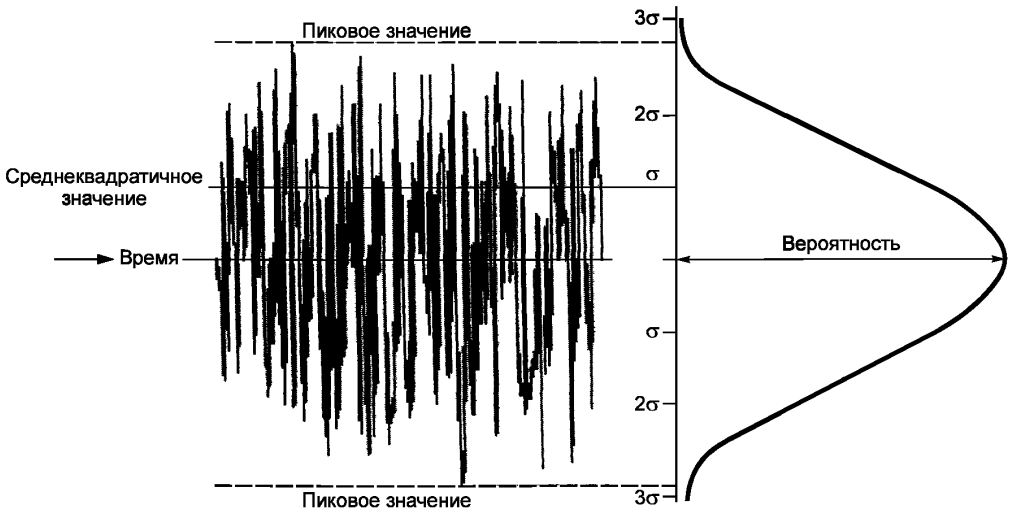
Данные требования могут быть трудновыполнимы на отдельных частотах или для образцов больших размеров или большой массы. В этом случае в нормативном документе могут быть установлены более широкие границы допуска.

Спад спектральной плотности ускорения на нижних частотах должен составлять не менее плюс 6 дБ/октава, а на высоких частотах — не более минус 24 дБ/октава [см. В.2.3 (приложение В)].

Для испытаний с качанием частоты допуски на спектральные составляющие с изменяющейся частотой должны быть теми же, что и на составляющие широкополосной вибрации. Однако это может быть невыполнимо при высокой скорости качания. В этом случае допуски на спектральные составляющие должны быть установлены в нормативном документе.

5.1.2 Вероятностное распределение

Мгновенное значение ускорения в контрольной точке должно быть распределено по закону, близкому к гауссовскому, как показано на рисунке 2. Подтверждение этому должно быть получено в процессе калибровки системы. Вид распределения сигнала в присутствии гармонической составляющей показан на рисунке 4.



σ — стандартное отклонение

Рисунок 2 — Случайный сигнал, близкий к нормальному, с заданным уровнем отсечки

Отсечка задающего сигнала должна быть на уровне не менее 2,5 среднеквадратичного значения (см. 3.18). Необходимо убедиться, что временная форма сигнала в контрольной точке содержит пики, превышающие заданное среднеквадратичное значение не менее чем в 3 раза, если только иные требования не установлены соответствующим нормативным документом.

Если для управления используют сигнал в воображаемой контрольной точке, вышеуказанное требование к значению пик-фактора распространяется на все проверочные точки, сигналы в которых используют для формирования сигнала управления.

Плотность вероятности распределения рассчитывают по двухминутной реализации сигнала в контрольной точке в начале, в середине и в конце испытаний.

5.1.3 Статистическая точность

Статистическую точность определяют через число статистических степеней свободы N_d и доверительный уровень (см. рисунок 3). Статистическое число степеней свободы определяют по формуле

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

где B_e — разрешение по частоте, Гц;

T_a — эффективное время усреднения, с.

Значение N_d не должно быть менее 120, если только иное требование не установлено соответствующим нормативным документом.

Если нормативным документом установлены доверительные уровни, которые необходимо соблюсти при проведении испытаний, для расчета статистической точности следует использовать данные рисунка 3.

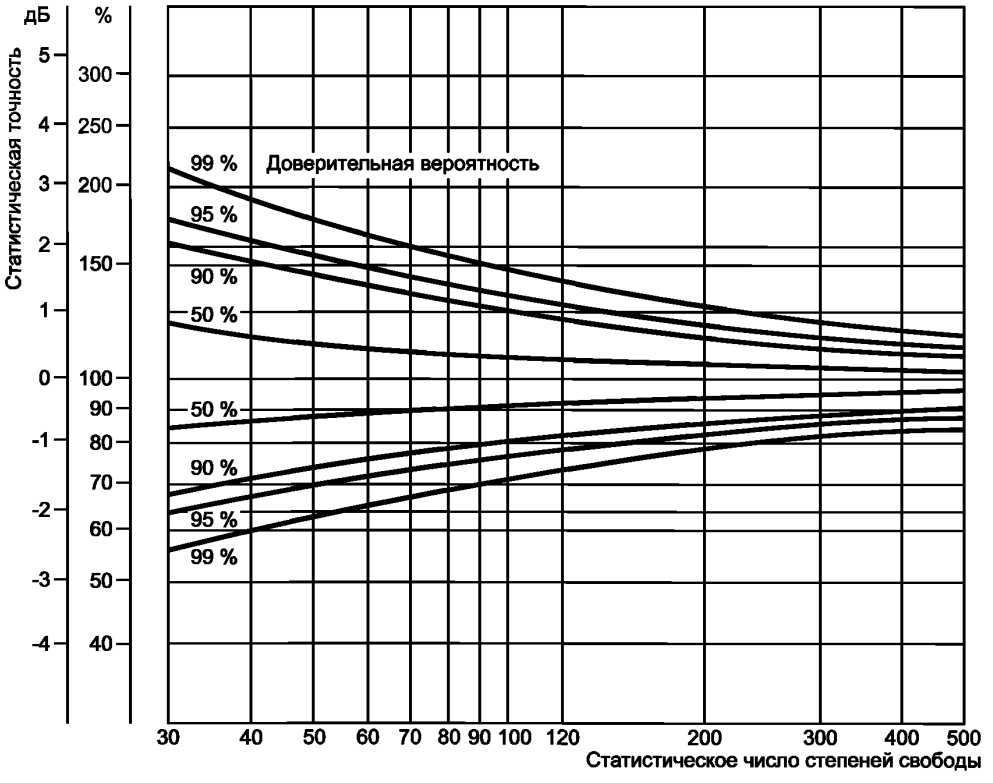


Рисунок 3 — Статистическая точность воспроизведения спектральной плотности ускорения в зависимости от числа степеней свободы для разных значений доверительной вероятности

5.1.4 Разрешение по частоте

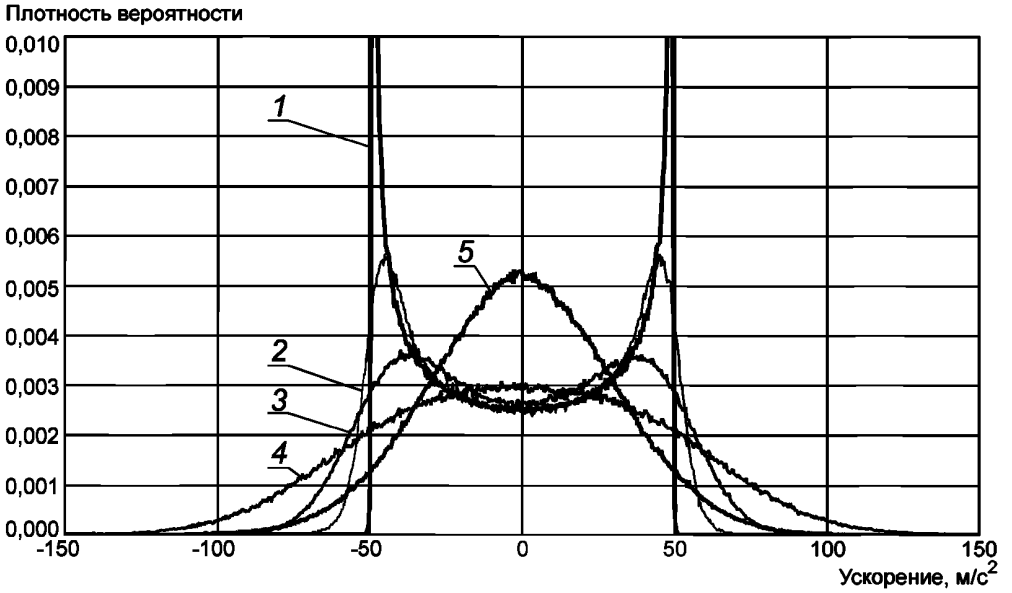
Разрешение по частоте B_e, Гц, зависит от максимальной тактовой частоты контроллера системы управления и числа линий в спектре сигнала n:

$$B_e = f_{high}/n, \quad (2)$$

где f_{high} — максимальная тактовая частот контроллера системы управления, Гц, которая должна не менее чем в два раза превышать f_2 (см. рисунок 1);

n — число спектральных линий, равномерно расположенных по диапазону частот вплоть до f_{high}.

Разрешение по частоте должно быть установлено нормативным документом [см. также раздел 13, перечисление h)].



1 — чисто гармонический сигнал; *2* — гармонический и случайный (СПУ — 0,1 $м^2/с^3$) сигналы; *3* — гармонический и случайный (СПУ — 1 $м^2/с^3$) сигналы; *4* — гармонический и случайный (СПУ — 5 $м^2/с^3$) сигналы; *5* — чисто случайный сигнал (СПУ — 5 $м^2/с^3$)

Рисунок 4 — Плотность вероятности распределения гармонического (амплитуда 50 $м/с^2$, частота 120 Гц) и случайного (в диапазоне от 20 до 200 Гц) сигналов, а также их сочетаний

5.1.4.1 Сочетание широкополосного и узкополосного случайных сигналов B_e выбирают таким образом, чтобы:

- одна из спектральных линий совпадала с f_1, а первая спектральная линия была расположена не выше 0,5 f_1;
- две спектральные линии определяли форму спада спектральной плотности ускорения узкополосного сигнала.

Если вышеперечисленные требования дают два разных значения B_e, то выбирают наименьшее из них.

Примечание — Выбор B_e предполагает компромисс между стремлением более качественно описать спектр возбуждения и необходимостью обеспечить быстродействие системы управления. Кроме того, увеличение скорости качания частоты может потребовать более высокого разрешения по частоте для поддержания управления во всем диапазоне частот качания.

5.1.4.2 Сочетание гармонического и случайного сигналов

B_e выбирают таким образом, чтобы одна из спектральных линий совпадала с f_1, а первая спектральная линия была расположена не выше 0,5 f_1.

Качание частоты гармонического сигнала по возможности должно быть непрерывным. Для систем управления, в которых частота гармонического сигнала изменяется скачкообразно, B_e должно составлять не более 0,1 % f_{high}.

5.2 Допуски на характеристики гармонической вибрации

5.2.1 Вибрация в контрольной точке

При качании частоты гармонической составляющей, воспроизводимой на фоне случайных колебаний, для оценки ее амплитуды обычно используют цифровой следящий фильтр. Этот фильтр позволяет

отсечь значительную часть случайной составляющей. Однако в любом случае оценка амплитуды будет содержать долю случайного шума на частотах, расположенных вблизи частоты гармонического сигнала. Кроме того, чем больше отношение спектральной плотности ускорения случайного сигнала к половине квадрата амплитуды гармонического сигнала (называемое также отношением мощностей), тем больше будет доля этой случайной погрешности. Уменьшение полосы следящего фильтра позволит уменьшить случайную погрешность, однако это сопровождается увеличением числа отсчетов, по которым выполняют усреднение.

Если образец обладает острым высокодобротным резонансом, увеличение числа отсчетов приводит к значительному смещению оценки отклика.

Допуски на амплитуду гармонических составляющих, действующих на фоне случайной вибрации, должны быть больше, чем совокупная погрешность, включающая в себя случайную погрешность, смещение, погрешность цепи управления и инструментальную погрешность.

На рисунке 5 показана рекомендуемая скорость качания частоты в зависимости от отношения мощностей в предположении выполнения следующих условий:

- применяют цифровую следящую фильтрацию с использованием интегрирования произведения сигнала в контрольной точке на гармонический сигнал;
- применяют экспоненциальное усреднение при оценке амплитуды сигнала;
- коэффициент демпфирования образца равен 0,01;
- E_{sor} представляет собой совокупную погрешность смещения и случайной погрешности, не учитывающей другие источники погрешностей, такие как погрешность цепи управления и инструментальная погрешность;
- совокупная погрешность выражена через стандартное отклонение.

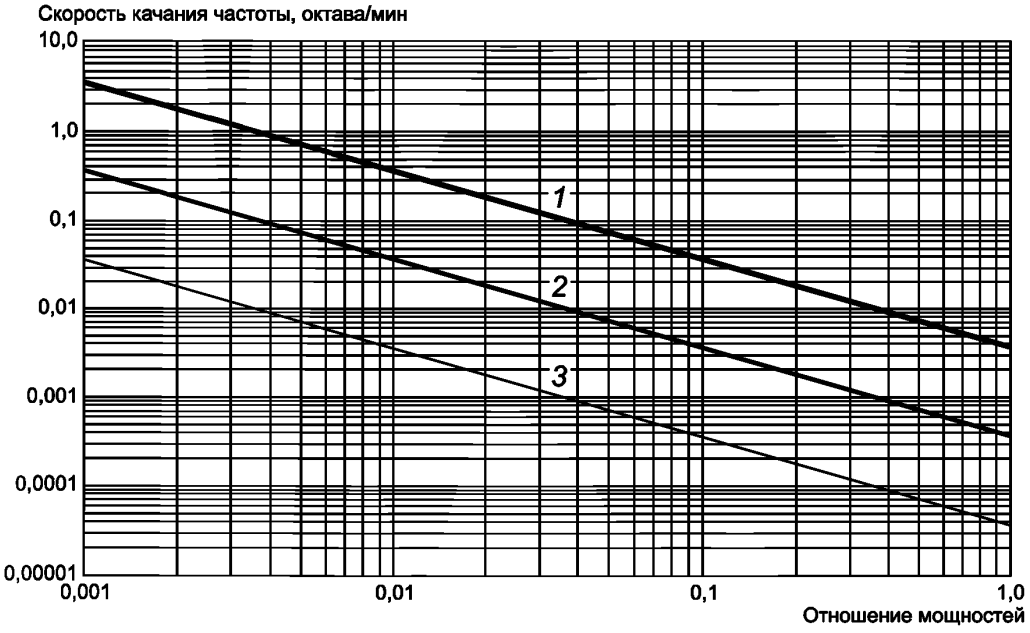
В этом случае полная погрешность E_t определяется формулой

$$E_t = K\sqrt{E_{sor}^2 + E_i^2 + E_c^2}, \quad (3)$$

где K — коэффициент, равный двум (если полная погрешность определена через удвоенное стандартное отклонение);

E_i — стандартное отклонение инструментальной погрешности;

E_c — стандартное отклонение погрешности системы управления.



1 — E_{sor} = 10 %; *2* — E_{sor} = 5 %; *3* — E_{sor} = 2,5 %

Рисунок 5 — Рекомендуемая скорость качания частоты в зависимости от отношения мощностей для разных значений E_{sor}

5.2.2 Допуски на значение частоты

Применяют следующие допуски на значение частоты гармонического сигнала:

1) для сигнала с качанием частоты:

± 1 Гц в диапазоне от 5 до 50 Гц,

± 2 % в диапазоне выше 50 Гц;

2) для сигнала на фиксированной частоте: ± 2 %.

5.3 Стратегия управления

5.3.1 Одноточечное или многоточечное управление

Если предписано нормативным документом или выявлена в ходе предварительного обследования необходимость проведения испытаний с многоточечным управлением, то должна быть определена стратегия этого управления.

Нормативным документом должно быть установлено, какое управление следует применять: одноточечное или многоточечное. Если многоточечное, то нормативным документом должно быть предписано, по какому сигналу осуществляют управление: сигналу, усредненному по проверочным точкам, или по сигналу в некоторой выбранной точке (например, той, где вибрация максимальна).

Примечание — Если управление по одной точке невозможно, то используют многоточечное управление, определив способ получения сигнала управления — по среднему или по экстремальному значению в проверочных точках. В любом случае контрольная точка будет воображаемой. Используемый метод управления должен быть отражен в протоколе испытаний.

Ниже описаны возможные стратегии управления.

5.3.1.1 Управление по среднему значению

В данном способе управления сигнал управления определяют по сигналам в каждой проверочной точке, формируя его посредством арифметического усреднения на каждой частотной составляющей. После чего сравнивают амплитуды всех частотных составляющих сигнала управления и задающего сигнала.

5.3.1.2 Управление по среднему значению с коррекцией

Значение амплитуды a_c каждой частотной составляющей сигнала управления получают усреднением по амплитудам $a_1,\ldots, a_n$ соответствующих частотных составляющих сигналов в проверочных точках с использованием весовых коэффициентов $w_1,\ldots, w_n$:

$$a_c = (a_1w_1 + \ldots + a_nw_n)/(w_1 + \ldots + w_4). \quad (4)$$

Такая стратегия управления предполагает возможность внесения сигналами в разных проверочных точках разных долей в сигнал управления на каждой частоте.

5.3.1.3 Управление по экстремальному значению

В данном способе сигнал управления вычисляют по экстремальным значениям параметра управления на каждой частоте в каждой проверочной точке. Такая стратегия позволяет построить сигнал управления в частотной области как огибающую по спектрам сигналов в проверочных точках, нанесенных на один график (управление по максимальному значению), или как нижний предел этих сигналов на каждой частоте (управление по минимальному значению).

5.4 Определение частотной характеристики

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

6 Степень жесткости условий испытаний

Степень жесткости условий испытаний определяется сочетанием следующих параметров:

- диапазона частот испытаний;
- значений спектральной плотности ускорения широкополосной вибрации;
- формы кривой спектральной плотности ускорения широкополосной вибрации;
- диапазонов частот узкополосной случайной вибрации;
- гармонических составляющих вибрации;
- скорости качания частоты;
- длительности воздействия вибрации.

Указанные параметры должны быть определены соответствующим нормативным документом одним из следующих способов:

- выбором из значений, приведенных в 6.1—6.3;

- исходя из известных условий эксплуатации изделия, если они дают существенно иные значения параметров.

Примечание — При определении уровней случайной или гармонической вибрации по записям реальных наблюдений следует обращать внимание на то, что используемые методы сжатия данных могли существенно исказить амплитудные соотношения сигналов.

6.1 Широкополосная случайная вибрация

6.1.1 Диапазон частот испытаний

Граничные значения диапазона частот испытаний, которые должны быть определены нормативным документом, рекомендуется выбирать из ряда ... 1; 2; 5; 10; 20; 50 ... Значение нижней границы f_1 не должно быть менее 1 Гц, а значение верхней границы f_2 не должно быть более 5000 Гц.

6.1.2 Спектральная плотность ускорения широкополосной случайной вибрации

Значение спектральной плотности ускорения в диапазоне между f_1 и f_2 (см. рисунок 1) в $(м/с^2)^2/Гц$ выбирают из ряда ... 1; 2; 5; 10... Минимальное значение — 0,01, максимальное — 100.

Примечание — Если спектральную плотность ускорения выражают через единицу ускорения свободного падения g_n, то для целей настоящего стандарта принимают $g_n = 10$ м/с^2.

6.1.3 Форма кривой спектральной плотности ускорения

Для настоящего испытания форма кривой спектральной плотности ускорения определена в виде участка с плоской вершиной (см. рисунок 1). В особых случаях допускается, чтобы функция спектральной плотности ускорения имела иной вид. При этом вид данной функции должен быть определен в нормативном документе. Если диапазон частот испытаний разбит на поддиапазоны, в каждом из которых спектральную плотность ускорения задают в виде постоянного значения, то границы поддиапазонов и значения спектральной плотности ускорения следует выбирать из значений, приведенных в 6.1.1 и 6.1.2. В соответствующем нормативном документе должны быть также определены виды кривых на графике спектральной плотности ускорения, соединяющих постоянные уровни этой функции в соседних поддиапазонах.

6.1.4 Длительность воздействия вибрации (время выдержки)

Длительность воздействия вибрации, в минутах (часах или днях), которая должна быть установлена нормативным документом, рекомендуется выбирать из ряда ... 1; 2; 5; 10... с допустимой погрешностью + 5 %.

6.2 Узкополосная случайная вибрация

В нормативном документе должно быть определено число полос случайной вибрации, добавляемой к фоновой широкополосной вибрации.

Для каждой полосы необходимо установить следующее:

a) ширину полосы (она должна быть не менее 0,5 % и не более 10 % диапазона частот широкополосной случайной вибрации). Нижняя граница полосы частот не должна лежать ниже удвоенного разрешения по частоте;

b) нижнюю и верхнюю границы цикла качания частоты;

c) скорость качания в октава/мин или Гц/с или время прохождения одного цикла качания;

d) число циклов качания или длительность воздействия узкополосной вибрации;

e) закон изменения частоты: линейный или логарифмический;

f) начальное направление изменения частоты (в сторону возрастания или убывания);

g) значение спектральной плотности ускорения в пределах полосы;

h) стратегию (SUM или MAX), используемую при выборе значения спектральной плотности ускорения узкополосной вибрации при ее сочетании с широкополосной вибрацией.

6.3 Гармоническая вибрация

Нормативным документом должно быть установлено число гармонических составляющих, которые должны быть возбуждены на фоне широкополосной случайной вибрации. Для этих гармонических составляющих должно быть определено следующее:

a) являются ли их частоты кратными друг другу или нет и каковы фазовые соотношения между ними.

Примечание — Фазовые соотношения определяют для задающего сигнала, и они могут отличаться от фазовых соотношений в сигнале ускорения из-за искажений, вносимых передаточными функциями вибростенда, устройства крепления и самого образца;

b) нижняя и верхняя границы цикла качания частоты;

c) скорость качания в октава/мин или Гц/с или время прохождения одного цикла.

Примечание — Рекомендуется выбирать скорость качания как можно меньшей согласно 5.2.1 и рисунку 5. При высокой скорости качания может наблюдаться ухудшение точности управления испытанием;

d) начальное направление изменения частоты (в сторону возрастания или убывания), а также время начала и окончания воздействия каждой составляющей;

e) зависимость изменения амплитуды каждой составляющей от частоты;

f) число циклов качания или длительность воздействия каждой гармонической составляющей;

g) закон изменения частоты: линейный или логарифмический;

h) значения частот при возбуждении гармонической вибрацией на фиксированных частотах;

i) амплитуды составляющих на фиксированных частотах.

Если качание частоты не используют, параметры, указанные в перечислениях b), c), d), f) и g), не определяют. В нормативном документе должно быть указано, какой метод возбуждения гармонической вибрацией применяют.

7 Начальная стабилизация

Необходимость начальной стабилизации образца в условиях вибрационного возбуждения и условия этого возбуждения должны быть определены соответствующим нормативным документом.

8 Начальные измерения

Образец должен быть подвергнут визуальному осмотру, контролю размеров и проверке эксплуатационных свойств, как предписано соответствующим нормативным документом.

9 Проведение испытаний

9.1 Общие положения

Испытания проводят в последовательности, установленной нормативным документом и включающей в себя этапы:

- начальное исследование (при необходимости) частотной характеристики образца;
- возбуждение вибрацией низкого уровня для выполнения требуемых настроек;
- выдержку в установленных режимах возбуждения вибрации;
- заключительное исследование (при необходимости) частотной характеристики образца.

Если нормативным документом не установлено иное, то образец возбуждают по очереди в каждом из предпочтительных направлений воздействия вибрации. Порядок выбора направления возбуждения, если только это не обусловлено специально нормативным документом, значения не имеет. Если образец испытывают в положении, характерном для условий его эксплуатации, то должен быть установлен способ установки образца в данное положение.

Сигнал управления должен быть получен по измерениям в одной проверочной точке при одноточечном управлении или в нескольких проверочных точках при многоточечном управлении.

В последнем случае нормативным документом должен быть установлен один из следующих способов управления:

- по среднему значению;
- по среднему значению с коррекцией;
- по максимальному или минимальному значению.

При любом способе управления контрольная точка является воображаемой.

Если изделие, предназначенное для эксплуатации с виброизоляторами, должно быть испытано без них, то для этого соответствующим образом изменяют степень жесткости условий испытаний. В нормативном документе может быть указано, каким образом следует изменить степень жесткости условий испытаний, проводимых без виброизоляторов.

9.2 Начальное исследование частотной характеристики образца

Если предписано нормативным документом, проводят исследование частотной характеристики по крайней мере в одной точке образца. Число точек, для которых следует определять частотную характеристику, должно быть указано в нормативном документе.

Исследование частотной характеристики может быть выполнено возбуждением образца гармонической или случайной вибрацией в диапазоне частот испытаний в соответствии с ГОСТ 30630.1.1. Уровень возбуждения должен быть определен в нормативном документе.

Уровень вибрации при исследовании частотной характеристики выбирают таким образом, чтобы отклик образца был более слабым, чем при воздействии вибрации в основном режиме испытаний, но достаточным для обнаружения критических частот.

Если исследования проводят, возбуждая гармоническую вибрацию, то скорость изменения частоты не должна превышать одной октавы в минуту. Для более точного определения формы частотной характеристики скорость качания может быть уменьшена. Следует избегать необоснованно длительного возбуждения вибрацией на одной частоте.

При исследовании с возбуждением случайной вибрацией следует иметь в виду, что время возбуждения должно быть достаточным для минимизации случайных вариаций отклика. Разрешение по частоте должно быть достаточным для удовлетворительного описания формы резонансного пика. Рекомендуется, чтобы на ширину пика на уровне минус 3 дБ приходилось не менее пяти спектральных линий.

Нормативным документом может быть установлено требование, чтобы во время исследования частотной характеристики образец функционировал в заданном режиме. Если функционирование образца препятствует определению характеристик вибрации, то проводят дополнительные исследования частотной характеристики при неработающем образце. В результате исследования должны быть определены и отражены в протоколе испытаний все критические частоты данного образца.

9.3 Возбуждение вибрацией низкого уровня

До проведения испытаний в основном режиме может потребоваться возбуждение образца случайной вибрацией более низкого уровня для предварительного анализа и коррекции сигнала. На этом этапе важно поддерживать спектральную плотность ускорения на минимальном уровне.

Длительность предварительного возбуждения случайной вибрацией может быть следующей:

- при среднеквадратичном значении ускорения на 12 дБ ниже установленного: без ограничения времени;
- при среднеквадратичном значении ускорения на 6—12 дБ ниже установленного: не более чем в 1,5 раза выше установленного времени выдержки при основном режиме испытаний;
- при среднеквадратичном значении ускорения на 0—6 дБ ниже установленного: не более чем 10 % установленного времени выдержки при основном режиме испытаний.

Длительность предварительного возбуждения случайной вибрацией не следует вычитать из установленной длительности воздействия вибрацией при основном режиме испытаний.

9.4 Выдержка в основном режиме воздействия

9.4.1 Общие положения

Иногда в реальных условиях эксплуатации изделие подвержено воздействию квазипериодической вибрации, обусловленной работой машин, узлы которых (лопатки ротора, шестерни, пропеллеры, поршни и т. д.) совершают возвратно-поступательное или вращательное движение. Если такая форма воздействия является доминирующей, то ее характеризует широкополосная случайная вибрация с наложением узкополосной вибрации или гармонических колебаний более высокого уровня.

9.4.2 Возбуждение узкополосной и широкополосной случайной вибрацией (RoR)

Возбуждение образца осуществляют фоновой широкополосной вибрацией с наложением на нее одного или нескольких узкополосных случайных колебаний с качанием среднегеометрических частот.

Степень жесткости условий испытаний в данном режиме определяют параметрами, установленными в 6.1 и 6.2.

В некоторых случаях возбуждение осуществляют без качания частот. Тогда испытания данного вида мало отличаются от испытаний по ГОСТ 30630.1.9. Необходимость использования качания частоты должна быть указана в нормативном документе.

9.4.3 Возбуждение гармонической и широкополосной случайной вибрацией (SoR)

Возбуждение образца осуществляют широкополосной случайной вибрацией с наложением на нее одного или нескольких гармонических колебаний с качанием их частот.

Степень жесткости условий испытаний в данном режиме определяют параметрами, установленными в 6.1 и 6.3.

В некоторых случаях возбуждение осуществляют без качания частот. Тогда параметры, указанные в перечислениях b), c), d), f) и g) подраздела 6.3, не определяют. Необходимость использования качания частоты должна быть указана в нормативном документе.

9.4.4 Возбуждение гармонической, узкополосной случайной и широкополосной случайной вибрацией (SoRoR)

Возбуждение образца в данном режиме представляет собой комбинацию условий по 9.4.2 и 9.4.3. Детально способ возбуждения должен быть определен соответствующим нормативным документом.

9.5 Заключительное исследование частотной характеристики образца

Если нормативным документом предписано проведение начального исследования частотной характеристики образца, в нем может быть также установлено требование проводить аналогичные исследования и после завершения испытаний в основном режиме для сопоставления с результатами начального исследования и выявления возможных изменений и повреждений образца. Заключительное исследование частотной характеристики проводят точно так же, в тех же точках и с теми же параметрами возбуждения, что и начальное. Действия, которые необходимо предпринять при выявлении расхождения результатов начального и заключительного исследований, должны быть определены соответствующим нормативным документом.

10 Промежуточные измерения

Если нормативным документом установлено, что образец должен функционировать во время испытаний, то этим же документом может быть установлена необходимость выполнения измерений рабочих характеристик образца во время его функционирования.

11 Конечная стабилизация

Нормативным документом может быть установлена необходимость дать образцу некоторое время на восстановление его характеристик (например, температурных) после испытаний, прежде чем проводить заключительные измерения.

12 Заключительные измерения

Образец должен быть подвергнут визуальному осмотру, контролю размеров и проверке эксплуатационных свойств согласно требованиям соответствующего нормативного документа.

В том же документе должны быть установлены критерии приемки или отбраковки образца.

13 Сведения, приводимые в соответствующем нормативном документе

	Раздел или подраздел настоящего стандарта
a) Воспроизводимое движение*	4.3
b) Точки крепления образца*	4.3
c) Поперечная вибрация	4.4
d) Установка образца*	4.5
e) Допуски	5.1 и 5.2
f) Пик-фактор (уровень отсечки задающего сигнала)*	5.1.2
g) Статистическая точность	5.1.3
h) Разрешение по частоте	5.1.4
i) Диапазон частот испытаний*	6.1.1
j) Спектральная плотность ускорения широкополосной случайной вибрации*	6.1.2
k) Форма кривой спектральной плотности ускорения*	6.1.3
l) Длительность воздействия вибрации*	6.1.4
m) Узкополосная случайная вибрация	6.2
n) Гармоническая вибрация и скорость качания частоты	6.3
o) Предварительная выдержка	7
p) Начальные измерения*	8
q) Многоточечное управление	9.1
r) Направления воздействия вибрации	9.1
s) Начальное и заключительное исследования частотной характеристики	9.2 и 9.5
t) Выдержка и контроль функционирования	9.4
u) Промежуточные измерения	10
v) Восстановление	11
w) Заключительные измерения*	12

* Данные по этим пунктам должны быть приведены обязательно.

14 Сведения, приводимые в протоколе испытаний

В протоколе испытаний должны быть приведены, как минимум, следующие сведения:

1) Заказчик	(наименование организации, адрес)
2) Испытательная лаборатория	(наименование, адрес)
3) Идентификационные данные отчета	(дата составления, номер)
4) Данные испытаний	
5) Тип испытаний	(SoR, RoR, SoRoR)
6) Цель испытаний	(доводочные испытания, приемка и т. д.)
7) Стандарт на испытания	(соответствующий метод испытаний)
8) Описание образца	(модель, номер, чертеж, фото, параметры)
9) Установка образца	(вид крепления, чертеж, фото и т. д.)
10) Характеристики вибрационной установки	(поперечная вибрация и др.)
11) Измерительная система, расположение датчиков	(описание, чертеж, фото и т. д.)
12) Инструментальная погрешность	(результаты поверок, даты поверок)
13) Стратегия управления	(многоточечный контроль, SUM/MAX)
14) Начальные, промежуточные, заключительные измерения	
15) Требуемая степень жесткости условий испытаний	(по техническим условиям на испытания)
16) Реальная степень жесткости условий испытаний	(точки измерения, степени свободы, спектры)
17) Результаты испытаний	(состояние образца)
18) Наблюдения и действия во время испытаний	
19) Резюме	
20) Лицо, проводившее испытания	(инициалы, фамилия, подпись)
21) Кому направляют результаты испытаний	(список лиц, получающих протокол испытаний)

Примечание — Если результаты испытаний должны быть зафиксированы, например в хронологическом порядке, с указанием параметров испытаний, наблюдений, выполненных во время испытаний, предпринятых действий и приведением таблиц измерений, то в этих случаях, как правило, ведут журнал испытаний. Журнал испытаний может быть приложен к протоколу испытаний.

Приложение А
(справочное)

Общие сведения об испытаниях с сочетанием разных видов вибрационных воздействий

А.1 Общие положения

Методы испытаний на случайную и гармоническую вибрацию установлены ГОСТ 30630.1.9 и ГОСТ 30630.1.2 соответственно. В настоящем приложении рассмотрены особенности испытаний, в которых применяют сочетание двух указанных видов воздействий. Имеющиеся в настоящее время цифровые системы управления позволяют реализовывать самые сложные стратегии управления для всех возможных сочетаний случайных и гармонических сигналов. Например, частоты разных гармоник (так же, как и среднегеометрические частоты узкополосных случайных процессов) при качании частоты могут двигаться навстречу друг другу и пересекаться. Это усложняет математическое описание процессов и затрудняет обеспечение необходимой точности управления, что требует принятия некоторых компромиссных решений.

А.2 Сочетание широкополосного и узкополосного (с фиксированной среднегеометрической частотой) случайных сигналов

Вибрация данного вида по существу ничем не отличается от широкополосной случайной вибрации, рассмотренной в ГОСТ 30630.1.9, и не требует модификации метода испытаний.

Допуски для узкополосных спектров остаются без изменений. Дополнительного рассмотрения могут потребовать только участки сопряжения узкополосного и широкополосного спектров. Если эти участки содержат только одну или две спектральные линии, а разность между уровнями спектральной плотности ускорения для широкополосной и узкополосной вибрации велика, то для облегчения воспроизведения требуемой вибрации допуски на этих участках могут быть увеличены, что должно быть отражено в протоколе испытаний.

А.3 Сочетание широкополосного и узкополосного (с качанием частоты) случайных сигналов

Основной проблемой управления при возбуждении вибрации данного вида является необходимость согласовать скорость качания и эффективное время усреднения в цепи обратной связи. Если скорость качания высока, а время усреднения велико, то наблюдается эффект размытия спектральных линий, когда энергия из одной спектральной линии «перетекает» в соседние. При этом теряется прямоугольная форма спектра узкополосного сигнала, и система управления может остановить испытания вследствие того, что ряд спектральных линий выйдет за пределы допуска.

Система управления, формируя на выходе новую спектральную плотность ускорения, осуществляет усреднение, например экспоненциальное, по выборке значений из предшествующего сигнала, что позволяет обеспечить стабильность управления. Принимаемое при этом во внимание число степеней свободы зависит от коэффициента усиления в цепи обратной связи — чем меньше его значение, тем больший интервал времени необходим для существенного изменения оценки, т. е. тем стабильнее работает система.

При качании узкополосного сигнала предшествующие значения сигнала, входящие в выборку, используемую алгоритмом расчета оценки, могут быть достаточно высокого уровня, чтобы оценка спектральной плотности ускорения превысила пределы допуска с последующей остановкой испытаний. Этого можно избежать, увеличив коэффициент обратной связи, что эквивалентно уменьшению числа усредняемых значений (уменьшению эффективного времени усреднения в цепи обратной связи), но при этом может быть потеряна стабильность управления.

Таким образом, в каждом конкретном случае в отношении коэффициента обратной связи необходимо определять некоторое компромиссное значение.

Если лаборатория обладает соответствующим оборудованием, полезной может оказаться запись сигнала вибрации в точке управления для его последующей обработки с применением разных алгоритмов спектрального анализа. Это никак не изменит условия уже прошедших испытаний, но позволит уточнить, какие именно условия испытаний были реализованы с последующим отражением этих условий в протоколе испытаний.

А.4 Сочетание широкополосного сигнала с гармоническим сигналом на фиксированной частоте

Выделение системой управления гармонической составляющей сигнала из ее смеси с широкополосным сигналом в общем виде представляет собой сложную задачу. Эта задача будет проще, если отношение амплитуды гармонического сигнала к среднеквадратичному значению случайного сигнала велико. С уменьшением данного отношения точность выделения гармонической составляющей может ухудшаться, как показано в следующем примере.

Пример — Для исследования были использованы цифровые системы управления трех типов. Параметры испытаний во всех случаях были неизменными.

Случайная вибрация:

- ***диапазон частот: 10—2000 Гц,***
- ***уровень спектральной плотности ускорения (постоянный): 0,005; 0,01; 0,05 g_n^2 /Гц,***
- ***разрешение по частоте (максимально возможное): 1 Гц,***
- ***число степеней свободы (максимально возможное): 120.***

Гармоническая вибрация:

- ***амплитуда: 5 g_n,***
- ***частота: 20; 160; 380 Гц.***

Во время испытаний на постоянной частоте гармонической вибрации были использованы возбуждения при всех возможных сочетаниях уровня спектральной плотности ускорения и амплитуды гармонического сигнала в течение 60 с каждое.

Выходной сигнал системы управления подавался на устройство цифровой записи с частотой выборки 12,5 кГц. Эти данные передавались на компьютер для расчета спектральной плотности ускорения. При компьютерном анализе были использованы следующие значения параметров:

- ***диапазон частот: 10—2000 Гц,***
- ***разрешение по частоте: 1 Гц,***
- ***число степеней свободы: 120,***
- ***длительность выборки: 60 с.***

Примеры расчета графика спектральной плотности ускорения для одной из систем управления и разных частот возбуждения гармонической вибрацией изображены на рисунках А.1 и А.2.

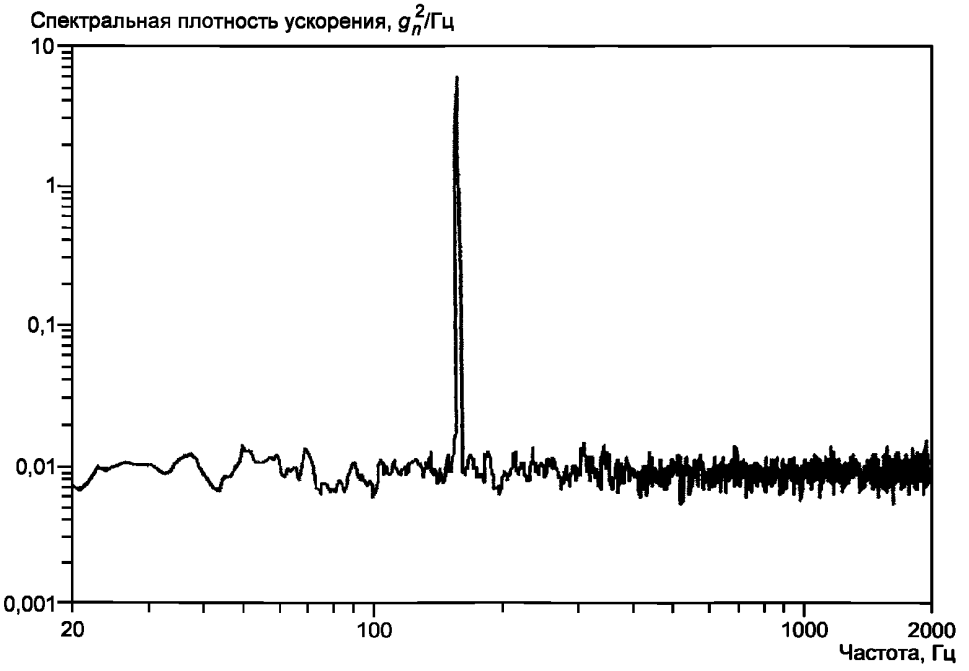


Рисунок А.1 — Гармонический сигнал на частоте 160 Гц

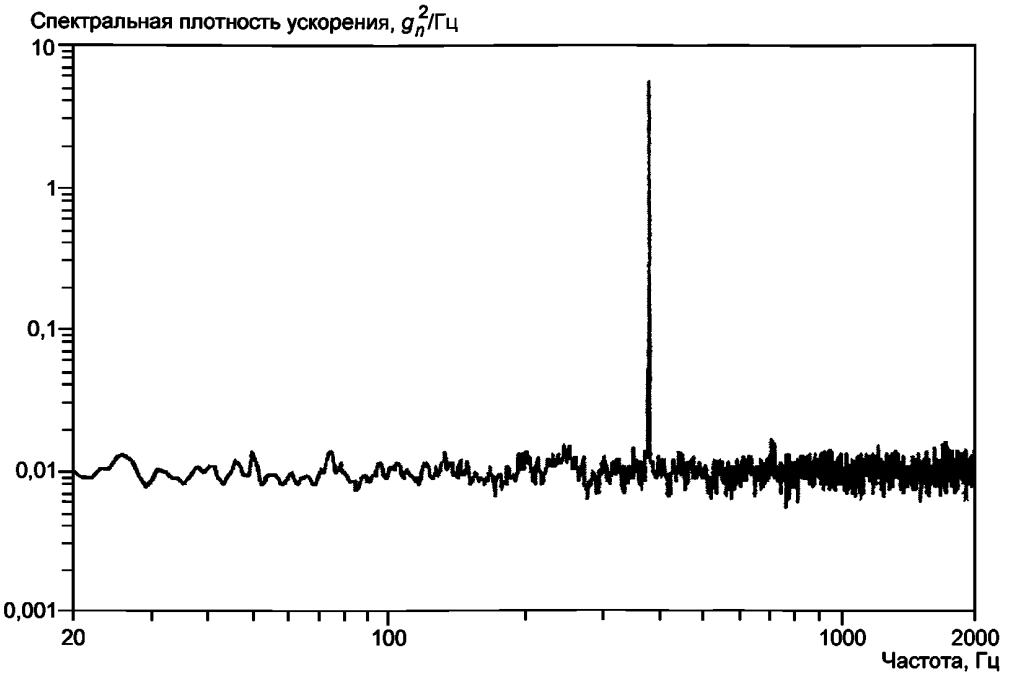
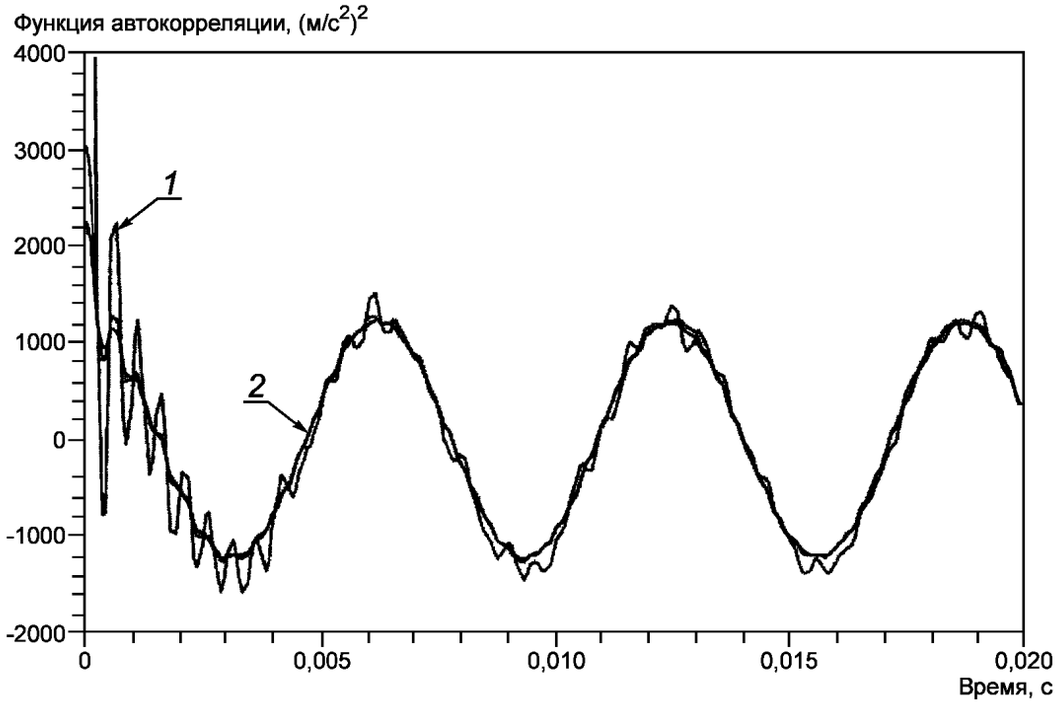


Рисунок А.2 — Гармонический сигнал на частоте 380 Гц

В таблице А.1 приведены значения спектральной плотности ускорения на среднегеометрической частоте диапазона частот для всех измерений. По этим значениям рассчитаны среднеквадратичные значения ускорения и в последнем столбце приведены их отклонения, в процентах, от теоретического значения. Это отклонение может характеризовать качество воспроизведения гармонического возбуждения. Поскольку сравниваются только среднеквадратичные значения, никаких выводов о качестве воспроизведения формы синусоидального сигнала сделать нельзя.

Для получения информации о том, насколько существенно отклонение от периодичности в возбуждаемом гармоническом сигнале, для каждого 5-секундного интервала сигнала вибрации была рассчитана функция автокорреляции. Примеры таких расчетов для двух разных уровней фонового случайного шума приведены на рисунке А.3.



1 — СПУ: 0,01 g_n^2 /Гц; *2* — СПУ: 0,005 g_n^2 /Гц

Рисунок А.3 — Автокорреляционная функция для смеси случайного шума с гармоническим сигналом на частоте 160 Гц

Т а б л и ц а А.1 — Расчетная спектральная плотность ускорения на частоте гармонического сигнала в его смеси с широкополосным случайным сигналом

Система управления	СПУ широкополосной составляющей, g_n^2 /Гц	Частота, Гц	Среднеквадратичное значение ускорения, g_n	Относительная погрешность, %
1	0,005	20	3,56	0,6
		160	3,56	0,7
		380	3,56	0,6
	0,01	20	3,54	0,1
		160	3,57	0,9
		380	3,54	0,2
	0,05	20	3,6	1,8
		160	3,58	1,1
		380	3,56	0,6
2	0,005	20	3,49	–1,2
		160	3,52	–0,4
		380	3,51	–0,7
	0,01	20	3,49	–1,3
		160	3,52	–0,4
		380	3,53	–0,3
	0,05	20	3,55	0,5
		160	3,53	0
		380	3,51	–0,7

Окончание таблицы А.1

Система управления	СПУ широкополосной составляющей, g_n^2 /Гц	Частота, Гц	Среднеквадратичное значение ускорения, g_n	Относительная погрешность, %
3	0,005	20	3,51	–0,8
		160	3,53	–0,2
		380	3,54	0,1
	0,01	20	3,5	–1
		160	3,54	0,2
		380	3,52	–0,5
	0,05	20	3,52	–0,4
		160	3,51	–0,6
		380	3,58	1,4
Задающий гармонический сигнал (реальный)			3,53	–0,2
Задающий гармонический сигнал (теоретический)			3,54	0,0

После этого для каждого измерения были определены квадраты амплитуды для времени 5T автокорреляционной функции, где T — период гармонического сигнала. Эти значения указаны в таблице А.2. Отклонения, в процентах, от теоретического значения приведены в последнем столбце этой таблицы.

Т а б л и ц а А.2 — Расчетная автокорреляционная функция *A* для смеси гармонического и широкополосного случайного сигналов

Система управления	СПУ широкополосной составляющей, g_n^2/Гц	Частота, Гц	*T*, с	$A^2(5T)$, g_n^2	Относительная погрешность, %
1	0,005	20	0,05	12,45	–0,4
		160	0,00624	12,71	1,7
		380	0,00264	12,65	1,2
	0,01	20	0,05	12,67	1,4
		160	0,00624	12,88	3,0
		380	0,00264	13,11	4,9
	0,05	20	0,05	13,37	7,0
		160	0,00624	11,98	–4,2
		380	0,00264	13,23	5,8
2	0,005	20	0,05	12,0	–4,0
		160	0,00624	12,32	–1,4
		380	0,00264	12,19	–2,5
	0,01	20	0,05	11,97	–4,2
		160	0,00624	12,85	2,8
		380	0,00264	12,3	–1,6
	0,05	20	0,05	12,33	–1,4
		160	0,00624	11,69	–6,5
		380	0,00264	13,23	5,8

Окончание таблицы А.2

Система управления	СПУ широкополосной составляющей, g_n^2/Гц	Частота, Гц	T, с	$A^2(5T)$, g_n^2	Относительная погрешность, %
3	0,005	20	0,05	12,14	–2,9
		160	0,00624	12,3	–1,6
		380	0,0028	12,33	–1,4
	0,01	20	0,05	12,21	–2,3
		160	0,00624	12,47	–0,2
		380	0,0028	12,07	–3,4
	0,05	20	0,05	12,01	–3,9
		160	0,00624	13,63	9,0
		380	0,0028	10,71	–14,3
Задающий гармонический сигнал (реальный)		20	0,05	12,37	–1,0
		160	0,00624	12,48	–0,2
		360	0,00277	12,49	–0,1
		380	0,00262	12,49	–0,1
Задающий гармонический сигнал (теоретический)		20	0,05	12,5	0
		160	0,00625	12,5	0
		360	0,00278	12,5	0
		380	0,00263	12,5	0

Такие расчеты применимы только в случае, когда возбуждение происходит на фиксированной частоте, точно совпадающей с одной из спектральных линий. Если такого совпадения нет, то наблюдается утечка мощности спектрального пика, которая может достигать 17 % при попадании этой частоты точно посередине между спектральными линиями. Однако такая погрешность носит систематический характер и может быть компенсирована с помощью соответствующих алгоритмов.

А.5 Сочетание широкополосного сигнала с гармоническим сигналом с качанием частоты

Изложенное в разделе А.4 применимо и к вибрации данного вида. Более того, если частота гармонического сигнала изменяется, может появиться значительная дополнительная погрешность, в основном связанная с алгоритмом усреднения спектральной плотности ускорения, применение которого рассчитано только для чисто случайного сигнала. Такой алгоритм не позволяет оценить амплитуду гармонической составляющей изменяющейся частоты. Поэтому может потребоваться проведение анализа, при котором выделение гармонической составляющей представляло бы собой отдельный этап.

А.6 Сочетание широкополосного и узкополосного случайных сигналов с гармоническими сигналами на фиксированных и изменяющихся частотах

Такая форма возбуждения представляет собой самый сложный случай для анализа, поскольку дополнительную сложность придают не только возможные пересечения изменяющихся частот гармонических составляющих, но и пересечения узкополосных составляющих случайного сигнала.

Возбуждение данного вида рекомендуется применять только в случае крайней необходимости и только при участии опытных и квалифицированных специалистов. В противном случае достоверность и воспроизводимость результатов испытаний могут быть поставлены под сомнение.

Приложение В
(рекомендуемое)

Руководство по проведению испытаний

В.1 Вводные замечания

Обеспечение воспроизводимости результатов испытаний является непростой задачей. Вследствие статистической природы случайного сигнала, сложного отклика образца и погрешностей анализа невозможно с уверенностью предсказать, будет ли истинная спектральная плотность ускорения, воздействующего на образец, совпадать с наблюдаемой спектральной плотностью ускорения в пределах установленных допусков. Для этого необходим комплексный и требующий больших затрат времени анализ, который невозможно выполнить в реальном масштабе времени.

Характеристики большинства цифровых систем управления, которые могут быть использованы для проведения испытаний с сочетанием вибрационных воздействий разных типов, схожи между собой. Варьируя несколько выбираемых параметров системы управления, можно получить оценки статистической точности воспроизводимого движения, характеризуемой разностью между истинной и наблюдаемой спектральными плотностями ускорения. Окончательный выбор должен позволить свести эту разность (без учета других источников погрешности) к минимуму.

Коррекция исходной спектральной плотности ускорения является рекуррентной процедурой, реализуемой с помощью цепи обратной связи системы управления. При этом эффективное время усреднения сигнала в данной процедуре зависит от нескольких факторов, таких как состав аппаратуры, передаточная функция системы в целом, форма задаваемой спектральной плотности ускорения, алгоритм управления и параметры испытаний, которые должны быть выбраны до проведения этих испытаний. В число указанных параметров испытаний входят максимальная частота анализа, разрешение по частоте и уровень отсечки задающего сигнала.

Алгоритм управления случайной вибрацией должен обеспечивать компромисс между точностью управления и эффективным временем усреднения сигнала (быстродействием работы цепи обратной связи). Высокая точность управления предполагает увеличение числа данных, используемых в рекуррентной процедуре, и, соответственно, уменьшение быстродействия работы цепи обратной связи, т. е. замедление реакции на изменения реальной спектральной плотности ускорения. На точность управления и быстродействие цепи обратной связи влияет также выбранное разрешение по частоте. Обычно увеличение разрешения по частоте приводит к повышению точности управления, но уменьшает быстродействие цепи обратной связи. Чтобы уменьшить расхождение между истинной и наблюдаемой спектральными плотностями ускорения, необходимо подобрать оптимальные значения вышеуказанных параметров.

Исследования частотной характеристики образца позволяют получить важную информацию о характере взаимодействия образца и вибростенда. Например, в ходе такого исследования может быть обнаружено чрезмерно большое усиление вибрации устройством крепления образца или совпадение резонансов образца и устройства крепления.

В настоящем приложении, в первую очередь, рассмотрены вопросы, относящиеся к случайной составляющей возбуждения. В отношении гармонической составляющей возбуждения (качания частоты, скорости качания, использования следящих фильтров) можно руководствоваться рекомендациями ГОСТ 30630.1.2.

В.2 Требования к испытаниям

В.2.1 Одноточечное и многоточечное управление

В.2.1.1 Общие положения

Проверку соответствия требованиям испытаний проводят на основе значений контролируемого параметра, полученного в результате обработки сигнала в контрольной точке.

Для жестких или малогабаритных образцов, например компонентов оборудования, а также в том случае, если известно, что влияние образца, жестко закрепленного на вибростенде, на динамику системы в диапазоне частот испытаний невелико, достаточно выполнять измерения в одной проверочной точке, которая тем самым становится контрольной точкой.

В случае образцов больших размеров или сложной формы с далеко разнесенными точками крепления для управления используют одну из проверочных точек или воображаемую контрольную точку. В последнем случае спектральную плотность ускорения вычисляют по сигналам в нескольких проверочных точках. Для сложных или крупных образцов рекомендуется использовать управление по сигналу в воображаемой контрольной точке (см. 3.6.3).

В.2.1.2 Одноточечное управление

Измерения проводят в одной контрольной точке, и значение контролируемого параметра на каждой частоте непосредственно сравнивают с заданным.

В.2.1.3 Многоточечное управление

В.2.1.3.1 Общие положения

При необходимости осуществления многоточечного управления выбирают одну из двух стратегий управления.

В.2.1.3.2 Управление по среднему значению

Данная стратегия управления предполагает вычисление контролируемого параметра на каждой частоте для каждой проверочной точки, после чего для вычисленных значений на каждой частоте находят арифметическое среднее по всем проверочным точкам.

Полученные средние арифметические значения сравнивают с заданными значениями контролируемого параметра на каждой частоте.

В.2.1.3.3 Управление по экстремальному значению

При выборе данной стратегии управления значения контролируемого параметра на каждой частоте определяют как экстремальное значение в совокупности данных параметров, полученных для сигналов во всех проверочных точках. Таким образом, значения контролируемого параметра, по которому осуществляют управление, представляют собой огибающую значений контролируемого параметра, полученных для всех проверочных точек.

В.2.2 Вероятностные характеристики

В.2.2.1 Распределение мгновенных значений

Распределение мгновенных значений χ задающего случайного сигнала должно удовлетворять нормальному закону, описываемому формулой

$$p(\chi) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-1/2(\chi/\sigma)^2}, \qquad (В.1)$$

где $p(\chi)$ — плотность вероятности распределения мгновенного значения задающего сигнала;

σ — среднеквадратичное значение (стандартное отклонение) задающего сигнала.

Среднее значение случайного сигнала вибрации предполагают равным нулю.

Плотность вероятности распределения для совокупности случайных сигналов и сочетания узкополосного и широкополосного случайных сигналов показана на рисунке 2. Плотность вероятности распределения для сочетания гармонического и случайного сигналов показана на рисунке 4.

В.2.2.2 Пик-фактор

Пик-фактор характеризует распределение сигнала возбуждения как отношение максимального мгновенного значения сигнала к стандартному отклонению (см. также рисунок 2).

Данный параметр может быть использован только в отношении задающего сигнала, генерируемого на выходе цифровой системы управления испытаниями, поскольку нелинейности всей системы, включающей в себя усилитель мощности, вибростенд, устройство крепления и испытуемый образец, могут исказить форму сигнала в проверочной точке. Влияние данных нелинейностей в широком диапазоне частот устранить, как правило, невозможно.

В соответствии с настоящим стандартом значение пик-фактора должно быть не менее 2,5 (см. также 5.1.2). Если для задающего сигнала, распределенного по нормальному закону, уровень отсечки равен 2,5 стандартных отклонений, то приблизительно 99 % данного сигнала попадет на усилитель мощности без искажений.

В.2.3 Спады на низких и высоких частотах

Настоящий стандарт предполагает, что спектральная плотность ускорения имеет прямоугольную форму (плоскую вершину) и все частотные составляющие расположены в диапазоне между частотами f_1 и f_2 (см. рисунок 1). Однако на практике возбуждаемый сигнал имеет спады спектральной плотности ускорения в областях низких и высоких частот. Чтобы среднеквадратичное значение оставалось как можно более близким к заданному, эти спады должны быть достаточно крутыми. Обычно крутизна спада в области низких частот равна 6 дБ/октава. Если значение спектральной плотности ускорения в точке f_1 велико, а возможности испытательной установки по допустимым значениям перемещения ограничены, это может потребовать увеличения крутизны спада в области низких частот. Расчеты перемещения для случайного сигнала приведены в В.2.4.

Как правило, динамический диапазон для двух соседних линий спектральной плотности ускорения при использовании цифровой системы управления испытаниями составляет 8 дБ. Для достижения большей крутизны спада может потребоваться увеличить разрешение по частоте (т. е. уменьшить значение B_e). Если это невыполнимо, а также в случае когда увеличение крутизны спада не позволяет обеспечить снижение значений перемещения до допустимого уровня, следует рассмотреть возможность уменьшения нижней границы допуска для спектральной плотности ускорения на низких частотах.

В области высоких частот проблем с обеспечением крутизны спада не существует. На частотах выше f_2 крутизна спада должна составлять минус 24 дБ/октава и менее.

В.2.4 Расчет среднеквадратичных значений ускорения, скорости и перемещения

Среднеквадратичное значение ускорения, скорости или перемещения в эффективном диапазоне частот испытаний представляет собой квадратный корень из суммы средних квадратов значений этих величин в соответствующих поддиапазонах. Каждый из таких поддиапазонов определяется значением спектральной плотности ускорения S, $(м/с^2)^2/Гц$, образующих его спектральных линий на частотах f_n и f_{n+1}, Гц, шириной полосы частот между

этими линиями ($f_{n+1} - f_n$) и крутизной спада M, дБ/октава, спектральной плотности ускорения между соседними линиями. Ниже приведены формулы для расчета средних квадратов значений ускорения, скорости и перемещения.

Средний квадрат ускорения a^2, $(м/с^2)^2$:

для $M \neq -3$

$$a^2 = \frac{3S_{n+1}}{M+3}\left[f_{n+1} - f_n\left(\frac{f_n}{f_{n+1}}\right)^{M/3}\right]; \quad (B.2)$$

для $M = -3$

$$a^2 = (S_{n+1})(f_{n+1})\left[\ln\left(\frac{f_{n+1}}{f_n}\right)\right]; \quad (B.3)$$

для $M = 0$

$$a^2 = S_n(f_{n+1} - f_n). \quad (B.4)$$

Средний квадрат скорости v^2, $(м/с)^2$:

для $M \neq 3$

$$v^2 = \left(\frac{1}{2\pi}\right)^2 \frac{3S_{n+1}}{M-3}\left[\frac{1}{f_{n+1}} - \frac{1}{f_n}\left(\frac{f_n}{f_{n+1}}\right)^{M/3}\right]; \quad (B.5)$$

для $M = 3$

$$v^2 = \left(\frac{1}{2\pi}\right)^2 \frac{S_{n+1}}{f_{n+1}}\left[\ln\left(\frac{f_{n+1}}{f_n}\right)\right]. \quad (B.6)$$

Средний квадрат перемещения d^2, $мм^2$:

для $M \neq 9$:

$$d^2 = \left(\frac{10^3}{4\pi^2}\right)\frac{3S_{n+1}}{M-9}\left[\frac{1}{f_{n+1}^3} - \frac{1}{f_n^3}\left(\frac{f_n}{f_{n+1}}\right)^{M/3}\right]; \quad (B.7)$$

для $M = 9$:

$$d^2 = \left(\frac{10^3}{4\pi^2}\right)\frac{S_{n+1}}{f_{n+1}^3}\left[\ln\left(\frac{f_{n+1}}{f_n}\right)\right]. \quad (B.8)$$

Вышеприведенные формулы справедливы, если на графике спектральной плотности ускорения, где обе координаты даны в логарифмическом масштабе, форма спектральной плотности ускорения образована прямыми линиями. В этом случае спад M может быть определен по формуле

$$M = 3\frac{\log\left(\frac{S_{n+1}}{S_n}\right)}{\log\left(\frac{f_{n+1}}{f_n}\right)}. \quad (B.9)$$

Для сигнала, представляющего собой смесь (подстрочный индекс *MM*) случайной (подстрочный индекс *R*) и гармонической (подстрочный индекс *S*) составляющих, среднеквадратичное значение (подстрочный индекс *r.m.s.*) ускорения определяют по формуле

$$a_{r.m.s.,\,MM} = \sqrt{a^2_{r.m.s.,R} + a^2_{r.m.s.,S}}, \quad (B.10)$$

а пиковое значение (подстрочный индекс *amp*) — по формуле

$$a_{amp,\,MM} = CF\,a_{r.m.s.,\,R} + a_{amp,\,S}, \quad (B.11)$$

где CF — пик-фактор, обычно принимаемый равным трем.

B.3 Процедура испытаний

Целью испытаний на виброустойчивость является демонстрация способности изделия 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. Длительность испытаний на вибропрочность, когда определяют способность образца противостоять кумулятивным эффектам вибрационного воздействия, таким как накопление усталости или механической деформации, должна быть достаточной для того, чтобы обеспечить необходимое число циклов изменений механического напряжения, даже если при этом длительность испытаний не будет соответствовать требованиям 6.1.4.

При испытаниях на воздействие вибрации оборудование, которое в обычных условиях эксплуатации устанавливают на виброизоляторах, испытывают, как правило, вместе с виброизоляторами. Если испытать оборудование с его собственными виброизоляторами невозможно, например, если это оборудование смонтировано вместе с другим оборудованием с помощью общего крепления, допускается проводить испытания без виброизоляторов, но при другой степени жесткости условий испытаний, которая должна быть определена в соответствующем нормативном документе. Степень жесткости условий испытаний корректируют с учетом передаточных свойств виброизолирующей системы по каждому из направлений возбуждения вибрации. Если характеристики виброизоляторов неизвестны, следует руководствоваться рекомендациями В.4.1.

Соответствующим нормативным документом может быть установлено требование проведения дополнительного испытания образца со снятыми или блокированными наружными виброизоляторами для демонстрации соответствия некоторым минимальным требованиям по вибропрочности. В этом случае в нормативном документе должна быть указана степень жесткости условий данного испытания.

В.4 Оборудование, предназначенное для использования вместе с виброизоляторами

В.4.1 Передаточные свойства виброизоляторов

Изделия, которые при эксплуатации устанавливают на виброизоляторы, могут быть испытаны без них, в частности когда динамические характеристики виброизоляторов нестабильны (например, изменяются с изменением температуры). В этом случае степень жесткости условий испытаний должна быть понижена с учетом диапазона изменений коэффициента передачи виброизоляторов. При коррекции степени жесткости условий испытаний учитывают нижнюю границу диапазона для каждого из направлений воздействия вибрации.

Если данные о передаточных свойствах виброизоляторов отсутствуют, то степень жесткости условий испытаний должна быть предметом согласования между исполнителем и заказчиком.

В.4.2 Влияние температуры

В состав многих виброизоляторов входят материалы, свойства которых зависят от температуры. Если собственная резонансная частота образца на виброизоляторах попадает в диапазон частот испытаний, следует проявлять осторожность в определении времени выдержки, в течение которого к образцу будет приложено заданное возбуждение. В ряде случаев нецелесообразно подвергать образец длительному возбуждению и следует предусмотреть перерывы для его восстановления. Если известно реальное распределение времени возбуждения изделия на данной резонансной частоте в процессе эксплуатации, следует попытаться смоделировать его в процессе испытаний. Если же такое распределение неизвестно, то испытания следует проводить, ограничивая длительность периодов возбуждения, чтобы избегать чрезмерного нагрева образца.

В.5 Степень жесткости условий испытаний

Заданные диапазоны частот испытаний, спектральные плотности ускорения широкополосной и узкополосной вибрации, амплитуды гармонических сигналов должны быть выбраны с таким расчетом, чтобы охватить широкий диапазон условий практического применения изделия. Если изделие предполагается использовать в строго определенных условиях, степень жесткости условий испытаний целесообразно задавать исходя из реальных характеристик вибрационного воздействия в этих условиях (когда такие характеристики известны).

По возможности следует выбирать степень жесткости условий испытаний, соотносящуюся либо с воздействиями, которым изделие может быть подвергнуто в процессе транспортировки или эксплуатации, либо с конструктивными требованиями к изделию, если целью испытаний является оценка его прочностных свойств.

При определении степени жесткости условий испытаний следует оценить, есть ли необходимость назначать их «с запасом» по сравнению с воздействиями в реальных условиях применения.

В.6 Характеристики оборудования

Нормативным документом может быть предписано, чтобы образец функционировал в процессе либо всего испытания, либо его части так, как он обычно функционирует на практике.

Если вибрация может повлиять на выполнение операций включения и/или выключения, например создавая помехи работе реле, следует предусмотреть неоднократное выполнение этих операций в процессе испытаний, чтобы убедиться в надежности их выполнения.

Если единственной целью испытаний является проверка стойкости изделия к воздействию заданной вибрации, то функциональные возможности образца оценивают после завершения испытаний.

В.7 Начальные и заключительные измерения

Начальные и заключительные измерения проводят с целью оценить, как повлияло на образец воздействие вибрации, созданной в процессе испытаний.

Помимо визуального осмотра эти этапы могут предусматривать измерение электрических и механических характеристик.

УДК 534.1:006.354 МКС 19.040 29.020 Т34

Ключевые слова: вибрация, вибрационные испытания, вибропрочность, виброустойчивость, машины, приборы, измерения, частотная характеристика, степень жесткости условий испытаний, широкополосная случайная вибрация, узкополосная случайная вибрация, гармоническая вибрация

Редактор *Л.В. Афанасенко*
Технический редактор *Н.С. Гришанова*
Корректор *Л.Я. Митрофанова*
Компьютерная верстка *В.И. Грищенко*

Сдано в набор 13.12.2011. Подписано в печать 13.01.2012. Формат 60 × 84 1/8. Гарнитура Ариал. Усл. печ. л. 3,72.
Уч.-изд. л. 3,40. Тираж 124 экз. Зак. 30.

ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123995 Москва, Гранатный пер., 4.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru
Набрано во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» на ПЭВМ.
Отпечатано в филиале ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ» — тип. «Московский печатник», 105062 Москва, Лялин пер., 6.

gost.e-ecolog.ru