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

МЕЖГОСУДАРСТВЕННЫЙ СТАНДАРТ

ГОСТ IEC 60068-2-57— 2016

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

ИСПЫТАНИЯ НА ВИБРАЦИЮ В ФОРМЕ АКСЕЛЕРОГРАММЫ И ИМПУЛЬСОВ БИЕНИЙ

(IEC 60068-2-57:2013, Environmental testing — Part 2-57: Tests — Test FT: Vibration — Time-history and sine-beat method, IDT)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2017

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

Цели, основные принципы и основной порядок проведения работ по межгосударственной стандартизации установлены в ГОСТ 1.0—2015 «Межгосударственная система стандартизации. Основные положения» и ГОСТ 1.2—2015 «Межгосударственная система стандартизации. Стандарты межгосударственные, правила и рекомендации по межгосударственной стандартизации. Правила разработки, принятия, обновления и отмены»

Сведения о стандарте

1 ПОДГОТОВЛЕН Открытым акционерным обществом «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем» (АО «НИЦ КД») на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии стандарта, указанного в пункте 5

2 ВНЕСЕН Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии Российской Федерации (Росстандарт)

3 ПРИНЯТ Межгосударственным советом по стандартизации, метрологии и сертификации (протокол от 8 декабря 2016 г. № 50)

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	Минэкономики Республики Армения
Беларусь	BY	Госстандарт Республики Беларусь
Грузия	GE	Грузстандарт
Казахстан	KZ	Госстандарт Республики Казахстан
Киргизия	KG	Кыргызстандарт
Россия	RU	Росстандарт
Таджикистан	TJ	Таджикстандарт

4 Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 9 февраля 2017 г. № 42-ст межгосударственный стандарт ГОСТ IEC 60068-2-57—2016 введен в действие в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 декабря 2017 г.

5 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту IEC 60068-2-57:2013 «Испытания на воздействие внешних факторов. Часть 2-57. Испытания. Испытание Ff. Вибрация. Метод испытаний с воспроизведением акселерограммы и биений» («Environmental testing — Part 2-57: Tests — Test Ff: Vibration — Time-history and sine-beat method», IDT).

Международный стандарт разработан техническим комитетом IEC/TC 104 «Внешние условия, классификация и методы испытаний» Международной электротехнической комиссии (IEC).

Официальные экземпляры международного стандарта, на основе которого подготовлен настоящий межгосударственный стандарт, и международных стандартов, на которые даны ссылки, имеются в Федеральном агентстве по техническому регулированию и метрологии.

Наименование настоящего стандарта изменено относительно наименования международного стандарта для приведения в соответствие с ГОСТ 1.5 (подраздел 3.6).

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

6 ВЗАМЕН ГОСТ 30630.1.8—2002 (МЭК 60068-2-57:1989)

*Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном информационном указателе «Национальные стандарты», а текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Стандартинформ, 2017

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 7
5 Жесткость условий испытаний 11
6 Подготовка образца 18
7 Начальные измерения 18
8 Проведение испытаний 18
9 Промежуточные измерения 20
10 Конечная стабилизация 20
11 Заключительные измерения 20
12 Сведения, приводимые в соответствующем нормативном документе 20
13 Сведения, приводимые в протоколе испытаний 21
Приложение А (справочное)`Руководство по проведению испытаний с воспроизведением акселерограммы процесса и импульсов биений 23
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов межгосударственным стандартам 28
Библиография 29

Введение

Настоящий стандарт устанавливает метод испытаний на вибрацию (вибропрочность или виброустойчивость) машин и оборудования всех видов (изделий), которые в процессе эксплуатации могут подвергаться воздействию случайных динамических сил небольшой длительности. Типичными примерами событий, вызывающих появление таких сил, являются землетрясения, взрывы, толчки и тряска при движении транспорта, переходные режимы работы машин.

Кратковременность вынуждающих сил в сочетании с демпфированием в конструкции изделия могут привести к тому, что отклик изделия на воздействие не достигнет установившегося состояния.

Испытания проводят посредством возбуждения образца вибрацией с заданным спектром отклика, характеристики которого должны быть такими, чтобы моделировать эффект воздействия динамических сил, или в форме импульсов с гармоническим заполнением.

Применяемая для испытаний акселерограмма может представлять собой временную реализацию реального процесса, быть выборкой случайного процесса или быть синтезированной на основе заданного спектра отклика. Использование возбуждения на основе заданной акселерограммы процесса позволяет воздействовать на образец вибрацией в широкой полосе частот. Это дает возможность одновременного возбуждения всех значимых мод колебаний образца вдоль направления (или направлений) возбуждения и позволяет учитывать эффекты, связанные с появлением напряжений в конструкции под действием связанных мод.

Если вибрация имеет форму импульсов биения, то образец возбуждается на фиксированной частоте несущей. Эта частота может быть задана заранее или быть одной из критических частот изделия, выявленных в ходе исследований его частотной характеристики.

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 В ФОРМЕ АКСЕЛЕРОГРАММЫ И ИМПУЛЬСОВ БИЕНИЙ

Methods environmental dynamic testing for machines, instruments and other articles. Time-history and sine-beat vibration tests

Дата введения — 2017—12—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на машины, приборы и другие технические изделия всех видов и устанавливает метод испытаний для определения способности испытуемого изделия (далее — образца) противостоять воздействию вибрации, заданной в форме акселерограммы или последовательности импульсов биений. Условия испытаний образцов конкретных видов и требования к испытаниям должны быть установлены в соответствующем нормативном документе (например, в технических условиях на продукцию).

Дополнительные пояснения к испытаниям с воспроизведением акселерограммы процесса и импульсов биений приведены в приложении А.

2 Нормативные ссылки

Для применения настоящего стандарта необходимы следующие ссылочные документы. Для датированных ссылок применяют только указанное издание ссылочного документа. Для недатированных ссылок применяют последнее издание ссылочного документа (включая все его изменения).

IEC 60068 (all parts), Environmental testing (Испытания на воздействие внешних факторов)

IEC 60068-1, Environmental testing — Part 1: General and guidance (Испытания на воздействие внешних факторов. Часть 1. Общие положения и руководство)

IEC 60068-2-6:2007, Environmental testing — Part 2-6: Tests — Test Fc: Vibration (sinusoidal) [Испытания на воздействие внешних факторов. Часть 2-6. Испытания. Испытание Fc. Вибрация (гармоническая)]

IEC 60068-2-47:2005, Environmental testing — Part 2-47: Tests — Mounting of specimens for vibration, impact and similar dynamic tests (Испытания на воздействие внешних факторов. Часть 2-47. Испытания. Условия крепления образца при проведении динамических испытаний, включая испытания на вибрацию и удар)

IEC 60068-2-64:2008, Environmental testing — Part 2-64: Tests — Vibration, broadband random and guidance (Испытания на воздействие внешних факторов. Часть 2-64. Испытания. Вибрация широкополосная случайная)

IEC 60068-3-3:1991, Environmental testing — Part 3: Guidance — Seismic test methods for equipments (Испытания на воздействие внешних факторов. Часть 3. Руководство. Испытание с воздействием на оборудование сейсмических колебаний)

IEC 60068-3-8, Environmental testing — Part 3-8: Supporting documentation and guidance — Selecting amongst vibration tests (Испытания на воздействие внешних факторов. Часть 3-8. Методические документы и руководство. Выбор метода испытаний на вибрацию)

Издание официальное

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены следующие термины с соответствующими определениями.

Примечание — Для удобства пользования настоящим стандартом в настоящем разделе приведен ряд терминов с соответствующими определениями из [4], IEC 60068-1 и IEC 60068-2-6.

3.1 **критическая частота** (critical frequency): Частота, на которой в зависимости от уровня вибрации проявляется эффект неправильного функционирования образца или ухудшение его эксплуатационных характеристик или наблюдаются механические резонансы или другие эффекты, связанные с вибрацией, например дребезжание.

3.2 **частота перехода** (crossover frequency): Частота, разделяющая диапазоны с разным характером вибрации.

Примечание — Примером может служить частота перехода, на которой участок частотной характеристики, соответствующий постоянному перемещению, сменяется участком, соответствующим постоянному ускорению.

3.3 **демпфирование** (damping): Монотонное уменьшение амплитуды процесса со временем вследствие рассеяния энергии в системе.

Примечание — На практике демпфирование зависит от многих факторов, таких как вид системы, моды вибрации, механические напряжения в конструкции, уровень приложенных сил, материал конструкции, проскальзывание в соединениях и пр.

3.4 **вязкоупругое демпфирование** C (viscous damping): Демпфирование, характеризующееся тем, что элемент системы оказывает противодействие изменению системы с силой, пропорциональной скорости движения элемента в направлении, противоположном направлению скорости, и численно описываемое коэффициентом пропорциональности.

3.5 **критическое демпфирование** C_c (critical damping): Минимальное вязкоупругое демпфирование, при котором система, выведенная из состояния равновесия, возвращается в исходное состояние без колебаний.

3.6 **коэффициент демпфирования** DR (damping ratio): Отношение вязкоупругого демпфирования системы к ее критическому демпфированию.

Примечание 1 — Коэффициент демпфирования может быть вычислен по формуле $DR = C/C_c$ (см. 3.4 и 3.5).

Примечание 2 — Данную величину обычно выражают в процентах.

3.7 **допуск на сигнал** T (signal tolerance): Характеристика точности воспроизведения заданного процесса, определяемая различием между воспроизводимым и воспроизведенным процессами и вычисляемая по формуле

$$T = \left(\frac{NF}{F} - 1\right) \cdot 100\ \%,$$

где NF — среднеквадратическое значение воспроизведенного сигнала;

F — среднеквадратическое значение воспроизводимого сигнала.

Примечание — Данный параметр применим в отношении любой величины, характеризующей вибрацию (ускорение, скорость или перемещение) и используемой в целях управления испытаниями.

3.8 **точка крепления** (fixing point): Место контакта образца с крепежным приспособлением или вибростолом, соответствующее обычной установке образца на месте эксплуатации.

Примечание — Если для крепления образца используют его собственные крепежные устройства, точками крепления считают точки контакта крепежного устройства, а не самого образца.

3.9 **ускорение свободного падения** g_n (standard acceleration): Ускорение, приобретаемое телом под действием земного притяжения, которое, в свою очередь, зависит от высоты над уровнем моря и географических координат места.

Примечание — В целях настоящего стандарта используют значение ускорения свободного падения, округленное до ближайшего целого, т. е. 10 м/с^2.

3.10 **циклы высоких (механических) напряжений** (high stress cycles): Циклы механических напряжений, способные вызвать деградацию, деформацию или малоцикловые усталостные разрушения образца.

Примечание — Механические напряжения в образце обычно не подлежат измерению и контролю. Данный термин вводится с целью описания жесткости возбуждения (см. А.1.4).

3.11 **измерительная точка** (measuring point): Заданная точка, в которой производят сбор данных в процессе испытаний.

Примечание 1 — Измерительные точки бывают двух видов: проверочные и контрольные.

Примечание 2 — Для изучения поведения образца измерения могут быть проведены в точках внутри образца, однако такие точки в настоящем стандарте в качестве измерительных не рассматриваются.

3.11.1 **проверочная точка** (check point): Точка, расположенная на крепежном приспособлении, на вибростоле или на образце как можно ближе к одной из точек крепления и имеющая с нею жесткую механическую связь.

Примечание 1 — Обычно для подтверждения соответствия требованиям стандарта используют несколько проверочных точек.

Примечание 2 — Если число точек крепления равно четырем или менее, каждую из них следует использовать в качестве проверочной точки. Если число точек крепления превышает четыре, в соответствующем нормативном документе следует определить четыре наиболее представительные точки, которые и будут использованы в качестве проверочных точек.

Примечание 3 — В особых случаях, например для больших или сложных образцов, когда проверочные точки не могут быть заданы вблизи точек крепления, положение проверочных точек должно быть определено в соответствующем нормативном документе.

Примечание 4 — 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. 3.5.2) 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.

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

3.12 **частота модуляции** (modulating frequency): Частота модуляции несущей.

Примечание 1 — См. А.2.2 и рисунок 1.

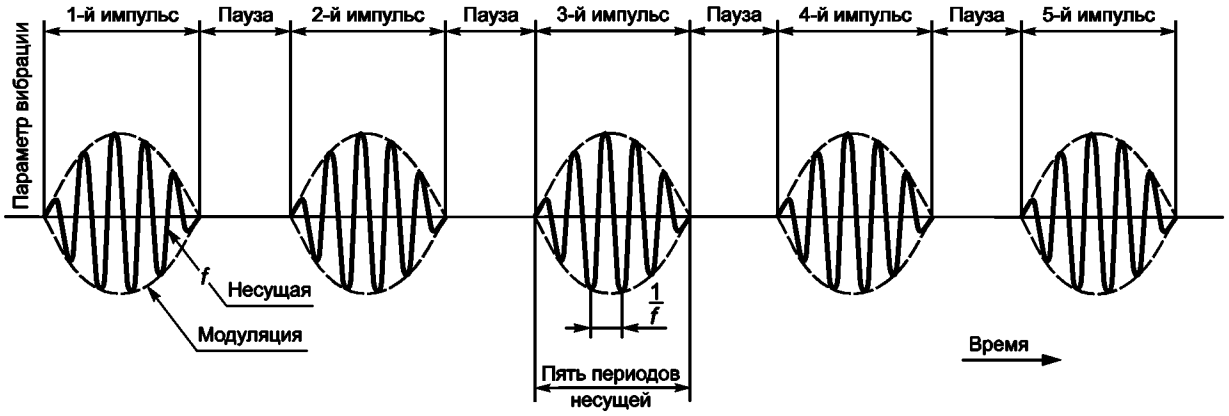


Рисунок 1 — Последовательность пяти импульсов биений с пятью циклами заполнения в каждом

3.13 **акселерограмма реального процесса** (natural time history): Временная реализация, отражающая изменения ускорения, скорости или перемещения, связанные с конкретным событием.

3.14 **осциллятор** (oscillator): Система с одной степенью свободы, способная генерировать или поддерживать механические колебания.

3.15 **пауза** (pause): Интервал между двумя последовательными временными реализациями (акселерограммами или импульсами биений).

Примечание — Длительность паузы T должна быть достаточной, чтобы исключить наложение откликов образца на последовательно воспроизводимые временные сигналы (акселерограммы или импульсы с заполнением). Если такими событиями являются импульсы биений, то

$$T > \frac{1}{f}\frac{100}{C_c},$$

где f — частота возбуждения;

C_c — критическое демпфирование на частоте возбуждения (в процентах).

3.16 **предпочтительные направления воздействия вибрации** (preferred testing axes): Три ортогональные оси, воздействие вдоль которых с наибольшей вероятностью приведет к появлению повреждений в образце.

3.17 **заданный спектр отклика** (required response spectrum): Спектр отклика заданной формы, установленный заказчиком испытаний (пользователем).

3.18 **спектр отклика** (response spectrum): График зависимости от частоты максимального отклика на заданное входное воздействие ансамбля осцилляторов с различными собственными частотами и заданным коэффициентом демпфирования.

3.19 **импульс биений** (sine beat): Импульс, образованный в результате модуляции гармонического сигнала другим гармоническим сигналом, более низкой частоты (частоты модуляции).

Примечание 1 — Длительность импульса составляет половину периода сигнала модуляции (см. рисунок 2).

Примечание 2 — Математическое объяснение природы биения приведено в А.2.2.1.

3.20 **значимая часть акселерограммы** (strong part of the time history): Часть акселерограммы между двумя моментами времени, когда сигнал в первый раз достигает уровня 25 % пикового значения и когда он в последний раз опускается ниже этого уровня (см. рисунок 3).

3.21 **цикл качания частоты** (sweep cycle): Прохождение диапазона частот испытаний по одному разу в каждом направлении, например от 1 Гц до 35 Гц и обратно до 1 Гц.

3.22 **синтезированная акселерограмма** (synthesized time history): Акселерограмма, созданная искусственно таким образом, чтобы ее спектр отклика был всюду не ниже заданного спектра отклика.

3.23 **частота возбуждения** (test frequency): Частота заполнения импульсов биений, воздействующих на образец во время испытаний.

Примечание — То же, что и частота несущей. В зависимости от способа определения бывает двух типов (см. 3.23.1 и 3.23.2).

3.23.1 **заданная частота возбуждения** (predetermined test frequency): Частота возбуждения, установленная в соответствующем документе на испытания.

3.23.2 **установленная частота возбуждения** (investigated test frequency): Частота возбуждения, определенная в результате исследования отклика образца.

3.24 **уровень вибрации** (test level): Пиковое значение вибрации, возбуждаемой в процессе испытаний.

Примечание 1 — Данный термин не применяют при испытаниях с воспроизведением акселерограммы процесса.

Примечание 2 — При испытаниях с воспроизведением импульсов биений уровень вибрации равен амплитуде модулирующего сигнала или несколько ниже ее.

3.25 **реальный спектр отклика** (test response spectrum): Спектр, получаемый аналитически либо при помощи оборудования для спектрального анализа, который соответствует реальному движению вибростола в процессе испытаний.

3.26 **акселерограмма** (time history): Запись перемещения, скорости или ускорения как функции времени.

Примечание — Более строгое математическое определение приведено в [4].

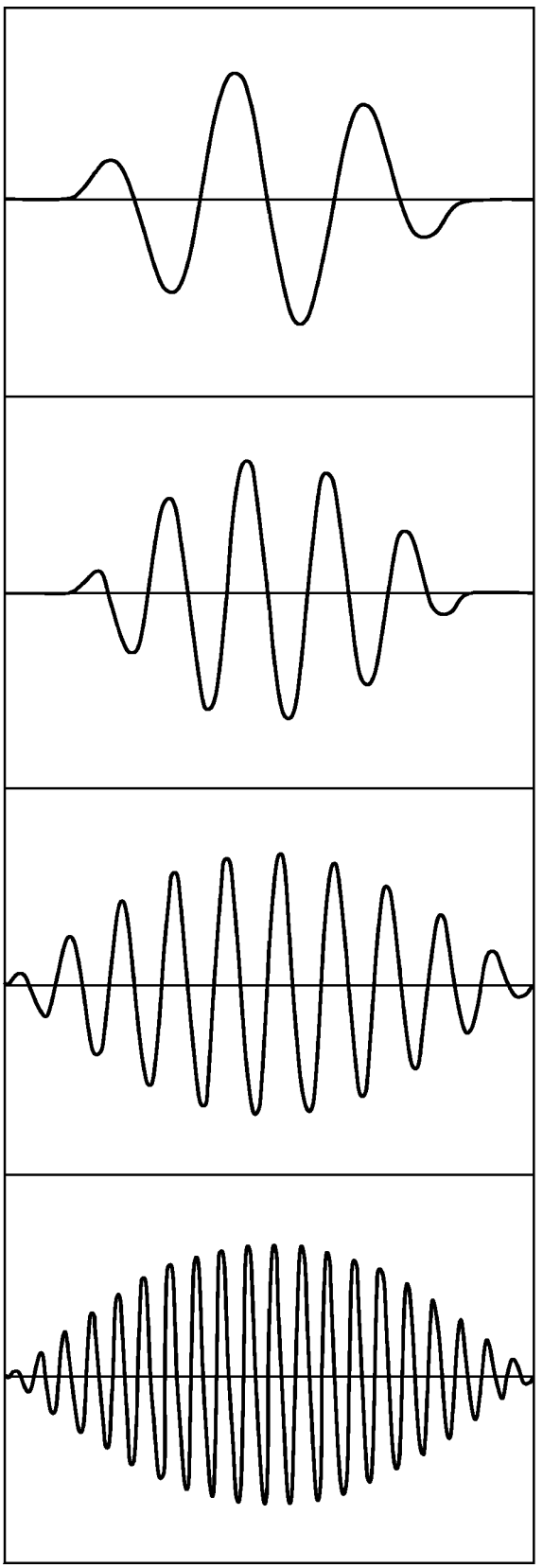


Рисунок 2 — Импульсы биений с тремя, пятью, десятью и двадцатью периодами несущей

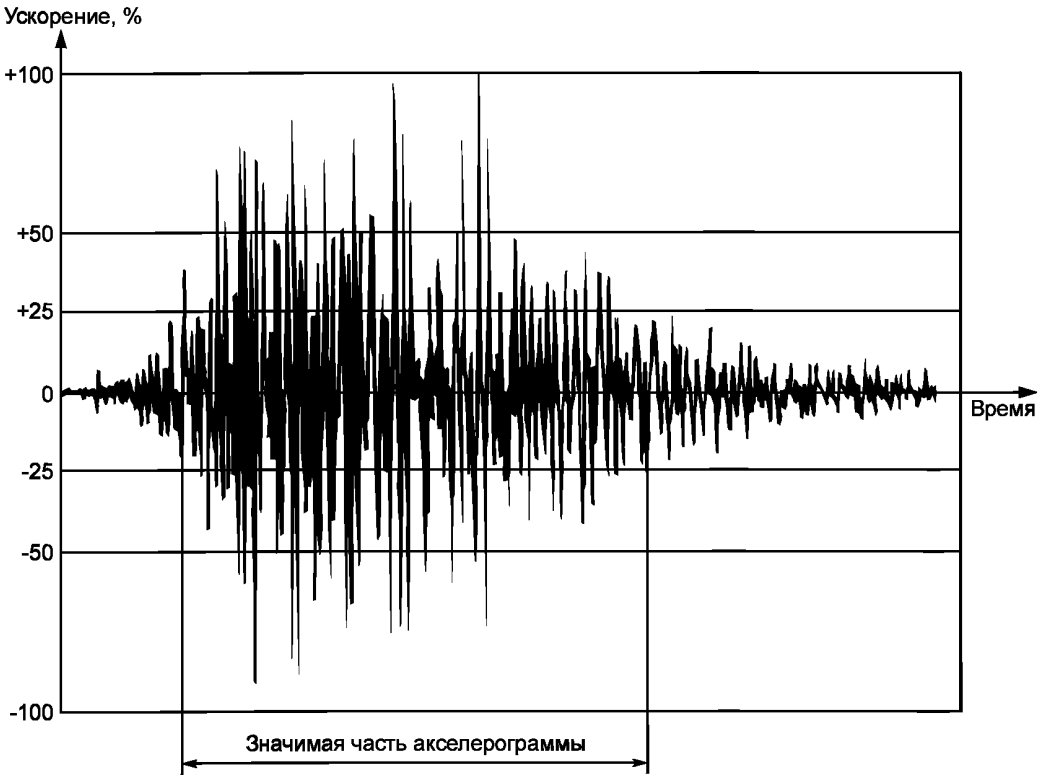


Рисунок 3 — **Типичная форма акселерограммы**

3.27 **ускорение нулевого периода** (zero period acceleration): Значение ускорения, к которому асимптотически стремится кривая спектра отклика в области высоких частот (см. рисунок 4).

Примечание — Данный термин важен с практической точки зрения, поскольку ускорение нулевого периода представляет собой пиковое значение (например, ускорения) возбуждения. Не следует путать его с пиковым значением ускорения в спектре отклика.

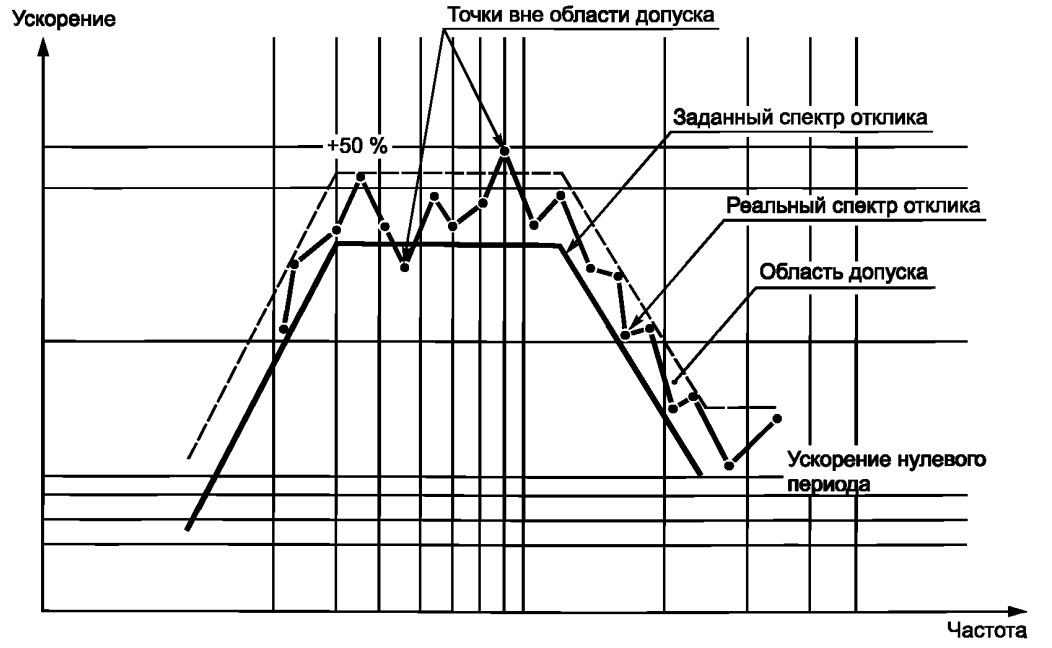


Рисунок 4 — **Типичные графики заданного спектра отклика, реального спектра отклика и допуска на сигнал**

4 Общие требования к испытаниям

4.1 Общие положения

Целью испытаний является определение слабых мест в конструкции образца или ухудшение его эксплуатационных характеристик под воздействием вибрации для того, чтобы на основании этого принять решение о соответствии или несоответствии данного образца критериям, установленным в нормативном документе. Иногда такие испытания проводят с целью подтвердить механическую прочность конструкции образца или исследовать его динамическую реакцию.

Должен ли образец в процессе испытаний функционировать или же он подвергается воздействию вибрации в неработающем состоянии, определяется соответствующим нормативным документом.

В процессе испытаний выполняют измерения вибрации в заданных точках с целью контроля правильности выполнения требований к испытаниям.

Поскольку результаты вибрационных испытаний в большой степени зависят от квалификации проводящего их персонала, об этом должны быть осведомлены все лица, заинтересованные в результатах испытаний. Ожидается, что составитель нормативного документа, устанавливающего условия испытаний и требования к ним, выберет метод испытаний и жесткость условий испытаний, соответствующие целям испытаний для образца данного вида.

Перед проведением испытаний образец закрепляют непосредственно на вибростоле с помощью приспособлений, используемых при реальном применении изделия.

4.2 Требования

Требования к исследованиям частотной характеристики образца приведены в 4.3, к испытаниям с воспроизведением заданной акселерограммы — в 4.4, к испытаниям с воспроизведением импульсов биений — в 4.5, к креплению образца — в 4.6. Допуски на воспроизводимое возбуждение, применяемое в целях исследования частотной характеристики и в испытаниях на вибрацию, указаны в таблице 1.

Таблица 1 — Допуски

Параметр	Допуски	
	Определение частотной характеристики	Испытания на вибрацию
Допуск на сигнал	5 % (см. 4.3.5.3)	Не применяют
Вибрация в контрольной точке	±15 % [см. 4.3.6 a)]	
Ускорение в проверочных точках	±25 % в диапазоне частот до 500 Гц [см. 4.3.6 b)] ±50 % в диапазоне частот свыше 500 Гц [см. 4.3.6 b)]	
Поперечные колебания	50 % или 25 % (см. 4.3.3 для особых случаев)	25 % (см. 4.2.2)
Частота возбуждения	±0,05 Гц до 0,5 Гц включ. ±10 % от 0,5 до 5 Гц ±0,5 Гц от 5 до 100 Гц ±0,5 % свыше 100 Гц (см. 4.3.7 в отношении альтернативных вариантов)	a) заданная частота возбуждения (см. 4.5.3.2) ±0,05 Гц до 0,5 Гц включ. ±10 % от 0,5 до 5 Гц ±0,5 Гц от 5 до 100 Гц ±0,5 % свыше 100 Гц b) установленная частота возбуждения ±2 % (см. 4.5.3.3)

4.3 Определение частотной характеристики образца

4.3.1 Общие положения

Если это предписано соответствующим нормативным документом, то следует проводить исследования частотной характеристики образца (см. 8.2) с возбуждением его в одном направлении способом, описанным в ISO 60068-2-6, с учетом положений 4.3.2—4.3.9. Целью таких исследований является определение критических частот и, при необходимости, коэффициента демпфирования конструкции образца. Такие исследования могут быть также проведены с возбуждением случайной вибрации, как установлено в ISO 60068-2-64.

4.3.2 Воспроизводимая вибрация

В ходе исследований воспроизводят гармоническую вибрацию таким образом, чтобы точки крепления, определенные в соответствующем нормативном документе, синфазно перемещались в одном направлении в пределах ограничений, указанных в 4.3.3, 4.3.4 и 4.3.6.

4.3.3 Поперечная вибрация

Вибрация в любом из поперечных направлений в проверочных точках не должна превышать 50 % амплитуды воспроизводимой вибрации. В особых случаях, например для образцов малых размеров, если это установлено в соответствующем нормативном документе, требование к пиковому значению вибрации в поперечном направлении может быть ужесточено — вплоть до 25 %.

На некоторых частотах, а также в случае образца большого размера или большой массы установленные требования к поперечной вибрации труднодостижимы (см. также А.1.1). В этом случае в нормативном документе должен быть сделан выбор одного из следующих вариантов:

a) контролировать поперечную вибрацию в ходе исследований и все случаи выхода за пределы допуска фиксировать в протоколе испытаний;

b) проводить исследования без контроля поперечной вибрации.

4.3.4 Угловая вибрация

Если в процессе воспроизведения заданной вибрации вибростол совершает значительные угловые колебания, то в соответствующем нормативном документе могут быть установлены ограничения на такие колебания, и наблюдаемые угловые колебания должны быть отражены в протоколе испытаний.

4.3.5 Измерительные точки

4.3.5.1 Контрольная точка

В нормативном документе должно быть установлено, сколько точек используется в качестве контрольных: одна или несколько. Если предписано использовать несколько контрольных точек, то должно быть определено, каким образом должен быть получен сигнал управления: усреднением по всем контрольным точкам или выбором сигнала в одной контрольной точке в зависимости от заданного уровня возбуждения.

4.3.5.2 Проверочные точки

На некоторых частотах или в случае образцов больших размеров или большой массы соблюдение допусков, установленных в 4.3.6 b), может быть труднодостижимым (см. также А.1.1). В этом случае соответствующим нормативным документом может быть предусмотрено применение более широкой области допуска или использование другого метода оценки соблюдения условий испытаний.

4.3.5.3 Допуск на сигнал

Проверка соблюдения допуска на сигнал должна быть выполнена в контрольной точке в диапазоне частот, верхняя граница которого превышает частоту возбуждения не менее чем в пять раз.

Допуск на сигнал (см. 3.7) не должен превышать 5 %.

Примечание — В некоторых случаях указанное требование к допуску на сигнал может оказаться недостижимым. Его можно ослабить, если при этом будет поддерживаться на заданном уровне, например с помощью следящего фильтра, амплитуда сигнала управления на основной частоте возбуждения.

В случае образцов больших размеров или сложной формы, когда соблюдение требования к допуску на сигнал в некотором диапазоне частот испытаний недостижимо, а следящий фильтр по каким-либо причинам использован быть не может, допускается не поддерживать амплитуду сигнала на заданном уровне и все отклонения указывать в протоколе испытаний (см. А.1).

Нормативным документом может быть установлено требование указывать в протоколе испытаний (см. раздел 13) все отклонения сигнала от заданного и диапазон частот, в котором требования к допуску на сигнал соблюдены не были, а также применялся ли следящий фильтр в процессе испытаний.

4.3.6 Допуски на амплитуду вибрации

Воспроизводимая вибрация в заданном направлении в контрольной и проверочных точках должна находиться в пределах допуска. Этот допуск включает в себя инструментальную погрешность и должен составлять:

a) в контрольной точке (сигнал управления) — ±15 %;

b) в проверочных точках (ускорение) — ±25 % в диапазоне частот вплоть до 500 Гц и ±50 % в диапазоне частот свыше 500 Гц (см. также 4.3.5.2).

4.3.7 Допуски на частоту

Критические частоты конструкции образца должны быть определены в пределах следующих допусков:

- ±0,05 Гц, включая до 0,25 Гц;
- ±20 % от 0,25 до 5 Гц;
- ± 1 Гц от 5 до 50 Гц;
- ±2 % свыше 50 Гц.

Если нормативным документом предписано сравнение критических частот образца (см. 8.2) до и после проведения основных испытаний, то в них должен быть установлен критерий сравнения. В этом случае критические частоты конструкции должны быть определены в пределах следующих допусков:

- ±0,05 Гц, включая до 0,5 Гц;
- ±10 % от 0,5 до 5 Гц;
- ±0,5 Гц от 5 до 100 Гц;
- ±0,5 % свыше 100 Гц.

4.3.8 Качание частоты

Во время качания частоты последняя должна изменяться непрерывно со скоростью, изменяющейся по экспоненциальному закону и не превышающей одну октаву в минуту (см. 3.20).

Примечание — В случае применения цифровой системы управления испытаниями требование непрерывного изменения частоты возбуждения является не вполне корректным, однако на практике этой некорректностью можно пренебречь.

4.3.9 Коэффициент демпфирования

Обычно коэффициент демпфирования конструкции образца определяют по построенной частотной характеристике. Такие исследования предъявляют повышенные требования к применяемой аппаратуре и квалификации персонала. Возможно применение других способов определения коэффициента демпфирования. В этом случае в протоколе испытаний должно быть указано соответствующее обоснование.

4.4 Испытание с воспроизведением акселерограммы процесса

4.4.1 Воспроизводимая вибрация

Форма используемой при испытаниях акселерограммы может быть получена разными способами:

a) как временная реализация реального процесса динамического воздействия на изделие при его эксплуатации;

b) как синтезированный временной процесс, представляющий собой совокупность частотных составляющих из заданного диапазона частот. В последнем случае расстояние между соседними частотными составляющими не должно превышать:

- 1/12 октавы, если коэффициент демпфирования образца не превышает 2 %;
- 1/6 октавы, если коэффициент демпфирования образца находится в диапазоне от 2 % до 10 % (наиболее общий случай);
- 1/3 октавы, если коэффициент демпфирования образца не менее 10 %.

Значение коэффициента демпфирования (см. 3.6) может быть задано в соответствующем нормативном документе или определено иным способом (см. 4.3.9). Обычно эту величину принимают равной 5 %.

4.4.2 Поперечная вибрация

Максимальное пиковое значение контролируемой величины (ускорение или перемещение) в диапазоне частот испытаний в каждой из контрольных точек не должно превышать 25 % заданного пикового значения акселерограммы, если только иное не установлено соответствующим нормативным документом.

На некоторых частотах выполнение данного требования может оказаться затруднительным в случае испытаний образцов больших размеров или массы (см. также А.1.1). В соответствующем нормативном документе должно быть установлено, как следует действовать в подобных ситуациях:

a) фиксировать все превышения поперечной вибрацией заданного уровня и указывать их в протоколе испытаний или

b) не осуществлять контроль поперечной вибрации.

4.4.3 Угловая вибрация

См. 4.3.4.

4.4.4 Допуск для заданного спектра отклика

Область допуска для заданного спектра отклика должна составлять от 0 до 50 % (см. рисунок 4).

Допускаются незначительные отклонения отдельных точек в реальном спектре отклика за пределы области допуска при условии, что эти точки не соответствуют резонансным частотам образца. Если это условие не выполняется, уровень вибрации, полученный на частоте резонанса, должен быть отражен в протоколе испытаний (см. также А.1).

Контроль реального спектра отклика следует проводить:

в 1/12-октавных полосах для образца с коэффициентом демпфирования, не превышающим 2 %;

в 1/6-октавных полосах для образца с коэффициентом демпфирования от 2 до 10 % (наиболее распространенный случай);

в 1/3-октавных полосах для образца с коэффициентом демпфирования не менее 10 %.

В некоторых случаях заданный спектр отклика может иметь столь сложную форму, что его не удается воспроизвести в пределах указанного допуска. Это может потребовать внесения изменений в соответствующий нормативный документ относительно установленных границ допуска.

4.4.5 Диапазон частот испытаний

Сигнал в контрольной точке не должен содержать частотных составляющих выше верхней границы диапазона частот испытаний, за исключением тех, которые обусловлены испытательным оборудованием или самим образцом. Максимальное значение сигнала, выходящего за пределы диапазона частот, появление которого обусловлено испытательным оборудованием без установленного на нем образца, не должно превышать 20 % максимального значения заданного сигнала в контрольной точке. Если указанное условие не выполняется, реальное значение составляющей за пределами заданного диапазона частот должно быть отражено в протоколе испытаний.

Частотные составляющие за пределами диапазона частот испытаний не следует принимать во внимание при вычислении реального спектра отклика.

4.5 Испытание с воспроизведением импульсов биений

4.5.1 Общее описание метода

Воспроизводимое движение в точках крепления образца должно представлять собой импульсы с заполнением гармонической вибрацией на частоте возбуждения. Вибрация в точках крепления должна быть синфазной и прямолинейной в пределах ограничений, установленных в 4.3.1, 4.3.2, 4.3.3 и 4.3.5. Испытания данного вида проводят с возбуждением вибрации вдоль одной оси (см. IEC 60068-3-3:1991, таблица 1).

4.5.2 Допуски на амплитуду вибрации

4.5.2.1 Воспроизводимая вибрация

Воспроизводимое возбуждение в контрольной и проверочной точках должно соответствовать заданному в пределах следующих допусков (которые включают в себя инструментальную погрешность).

4.5.2.2 Контрольная точка

См. 4.3.6 a).

4.5.2.3 Проверочные точки

См. 4.3.6 b).

4.5.3 Допуски на частоту возбуждения

4.5.3.1 Общие положения

Устанавливают допуски двух типов (см. 4.5.3.2 и 4.5.3.3).

4.5.3.2 Заданная частота возбуждения

Устанавливают следующие допуски:

- ±0,05 Гц, включая до 0,5 Гц;
- ±10 % от 0,5 до 5 Гц;
- ±0,5 Гц от 5 до 100 Гц;
- ±0,5 % свыше 100 Гц.

4.5.3.3 Установленная частота возбуждения

Отклонение частоты возбуждения от критической частоты конструкции образца, определенной в процессе исследования его частотной характеристики, не должно превышать 2 %.

4.5.4 Поперечная вибрация

См. 4.4.2.

4.6 Установка образца

Образец закрепляют в соответствии с требованиями IEC 60068-2-6, в котором, в свою очередь, применены требования IEC 60068-2-47.

Если образец при его нормальном применении устанавливают на изоляторах, а испытания требуется провести без них, то жесткость возбуждения должна быть соответствующим образом скорректирована (уменьшена).

Если образец испытывают с креплениями, применяемыми при его обычном использовании, а заданное возбуждение предполагает испытание без таких креплений, то жесткость вибрации также должна быть скорректирована.

При установке образца следует учитывать влияние его соединительных элементов, кабелей, трубопроводов и т. п.

Рекомендуется проводить испытания с устройствами крепления, которые применяют при нормальном использовании образца.

Воспроизводимый спектр отклика или акселерограмма, используемые для испытаний системы установки, должны отличаться от тех, что применяют для испытаний самого образца.

В соответствующем нормативном документе должны быть указаны ориентация образца при его установке и способ установки. Отклонение от заданных нормативным документом требований допустимо только в тех случаях, когда этому дано должное обоснование (например, доказано, что на поведение испытуемого образца не влияет сила тяжести).

5 Жесткость условий испытаний

5.1 Общие положения

Жесткость условий испытаний при воспроизведении акселерограммы процесса определяется сочетанием следующих параметров:

- диапазон частот испытаний;
- заданный спектр отклика;
- число повторений и длительность воспроизводимых акселерограмм;
- число циклов высоких напряжений (если требуется).

Для каждого параметра в соответствующем нормативном документе должны быть установлены требования с учетом положений 5.2—5.5.

Жесткость условий испытаний при воспроизведении импульсов биений определяется сочетанием следующих параметров:

- диапазон частот испытаний;
- уровень вибрации;
- число периодов несущей в импульсе биений;
- число импульсов биений.

Для каждого параметра в соответствующем нормативном документе должны быть установлены требования с учетом положений 5.6.

5.2 Испытания с воспроизведением акселерограммы процесса

Частоты испытаний и диапазон частот испытаний определяют согласно 5.3.

5.3 Диапазон частот испытаний

Диапазон частот испытаний должен быть определен в соответствующем нормативном документе в виде нижней (выбирают из ряда 0,1; 1; 5; 10; 55 и 100 Гц) и верхней (выбирают из ряда 10; 20; 35; 55; 100; 150; 300; 500; 2000 Гц) границ. Рекомендуемые диапазоны частот приведены в таблице 2.

Таблица 2 — Рекомендуемые диапазоны частот

Рекомендуемые диапазоны частот от нижней, f_1, до верхней, f_2, границы, Гц
От 0,1 до 10[a]
От 1 до 35
От 1 до 100
От 5 до 35[a]
От 10 до 100[a]
От 10 до 150
От 10 до 500
От 10 до 2 000
От 55 до 2 000
[a] Данные диапазоны не входят в число рекомендованных по IEC 60068-2-6.

5.4 Заданный спектр отклика

В соответствующем нормативном документе должны быть установлены уровень и форма заданного спектра отклика, используемого при испытаниях, включая значение ускорения нулевого периода. Кроме того, если возбуждение вибрации осуществляют не по всем направлениям, должны быть указаны используемые направления возбуждения.

Руководство по синтезу заданного спектра отклика в случае, когда реальные условия вибрационного воздействия на образец неизвестны, приведено в А.1.3.

5.5 Число и длительность воспроизводимых акселерограмм

5.5.1 Число акселерограмм

В соответствующем нормативном документе должно быть установлено число воспроизводимых акселерограмм в процессе возбуждения образца в данном направлении.

Если в нормативном документе не установлено иное, число акселерограмм для возбуждения по каждому направлению и для каждого уровня акселерограммы должно быть выбрано из следующего ряда значений: ..., 1, 2, 5, 10, 20, 50, ...

При использовании акселерограмм с разными уровнями сигнала испытания следует начинать с возбуждения вибрации низшего уровня с последующим подъемом до более высоких уровней. Воспроизведению каждой новой акселерограммы должна предшествовать пауза.

5.5.2 Длительность акселерограмм

В соответствующем нормативном документе должна быть установлена длительность каждой акселерограммы. Длительность акселерограммы (в секундах) рекомендуется выбирать из ряда: ..., 1, 2, 5, 10, 20, 50, ...

Если известен период процесса динамического воздействия на образец во время его эксплуатации, то длительность акселерограммы выбирают не менее чем в 3—5 раз больше этого периода.

Длительность 3 с также может быть использована, если это задано в соответствующем нормативном документе.

Примечание — Типичная длительность динамического воздействия при землетрясении составляет 30 с.

5.5.3 Длительность значимой части акселерограммы

В некоторых случаях в соответствующем нормативном документе может быть установлено, что значимая часть акселерограммы составляет определенную долю ее общей длительности. В противном случае, если это не вступает в противоречие с требованиями 5.5.4, значение доли значимой части следует выбирать из ряда: 25 %, 50 %, 75 %.

Выбранное значение должно быть отражено в протоколе испытаний.

5.5.4 Число циклов высоких напряжений

В соответствующем нормативном документе может быть установлено число циклов высоких напряжений, превышающих некоторое заданное пороговое значение (см. А.1.4).

Если иное не установлено в нормативном документе, то число циклов высоких напряжений выбирают из ряда: 4, 8, 6, 32. Разнонаправленные механические напряжения должны иметь приблизительно одинаковое распределение, как это показано на рисунке 5.

Значения ускорения, соответствующие циклам высоких напряжений, выражают в процентах от пикового значения заданного спектра отклика на заданных критических частотах образца, сосредоточенных в значимой части заданного спектра отклика. Эти значения выбирают из ряда: 50 %, 70 % (предпочтительно), 90 %.

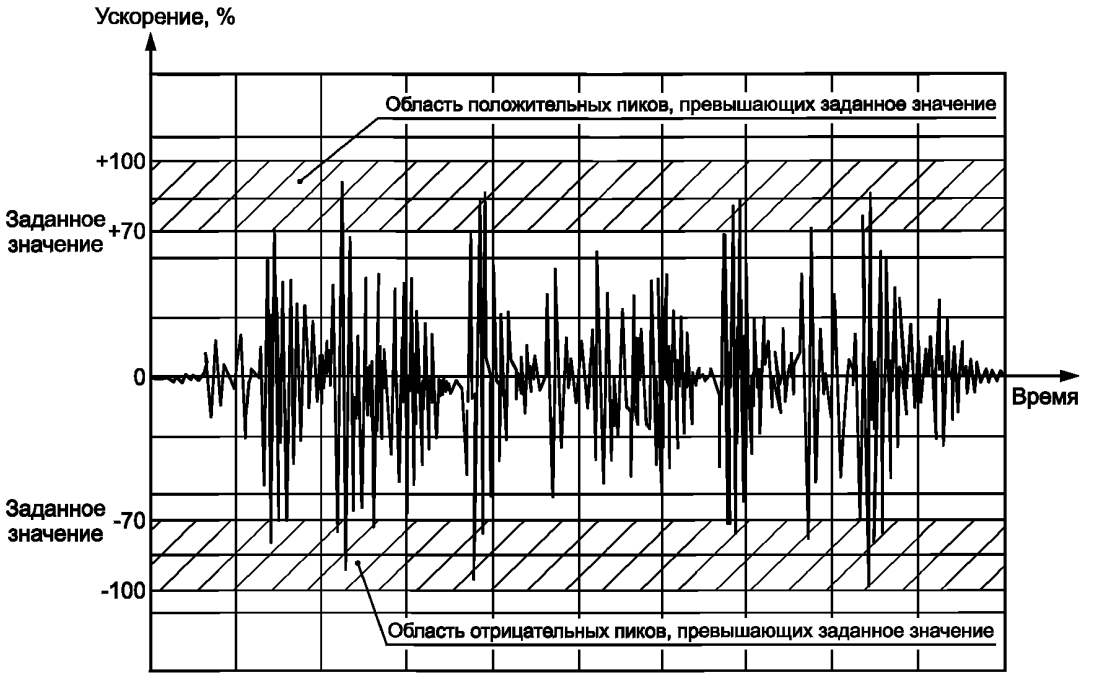


Рисунок 5 — Типичный отклик осциллятора на воспроизведенную акселерограмму процесса

5.6 Испытания с воспроизведением импульсов биений

5.6.1 Общие положения

В соответствующем нормативном документе должен быть установлен уровень вибрации (в единицах перемещения, скорости или ускорения) для каждого заданного направления воздействия (см. также А.2.1).

В области частот ниже частоты перехода уровень вибрации задают в виде постоянного перемещения, а выше — в виде постоянного ускорения. Рекомендуемые значения приведены в таблицах 3—5 (см. также рисунки 6—8) для разных частот перехода.

Таблица 3 — Рекомендуемые уровни вибрации для частоты перехода 0,8 Гц (см. рисунок 6)

Постоянное перемещение (ниже частоты 0,8 Гц), мм	Постоянное ускорение (выше частоты 0,8 Гц), м/с^2
40	1
80	2
120	3
200	5
Примечание 1 — Значения, приведенные в таблице, соответствуют пиковым значениям воспроизводимого возбуждения. Примечание 2 — Значения ускорения могут быть выражены в единицах g_n (см. 3.9). В целях настоящего стандарта принято g_n = 10 м/с^2.	

Таблица 4 — Рекомендуемые уровни вибрации для частоты перехода 1,6 Гц (см. рисунок 7)

Постоянное перемещение (ниже частоты 1,6 Гц), мм	Постоянное ускорение (выше частоты 1,6 Гц), м/с^2
10	1
20	2
30	3
50	5
100	10
200	20
Примечание 1 — Значения, приведенные в таблице, соответствуют пиковым значениям воспроизводимого возбуждения. Примечание 2 — Значения ускорения могут быть выражены в единицах g_n (см. 3.9). В целях настоящего стандарта принято g_n = 10 м/с^2.	

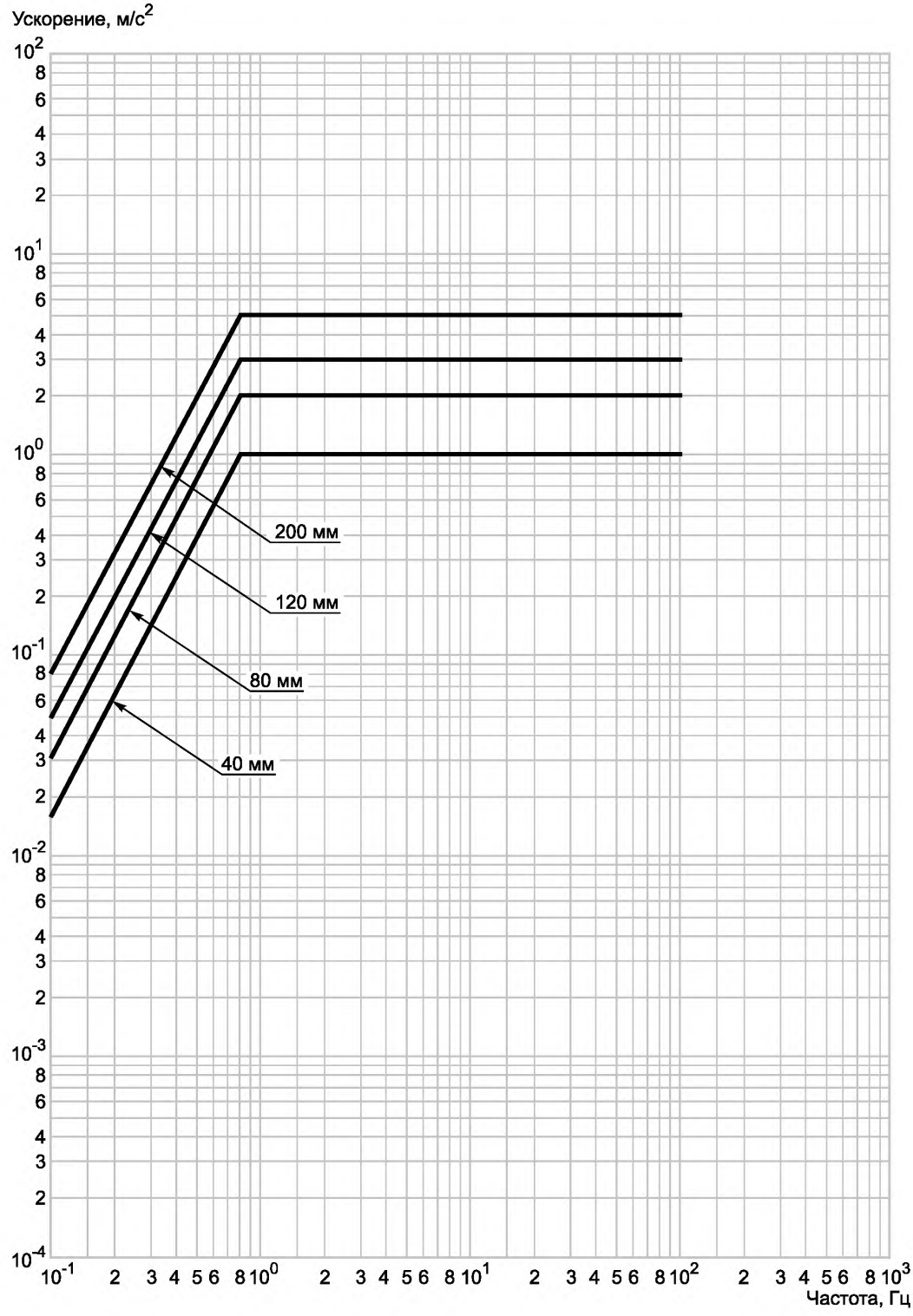


Рисунок 6 — Рекомендуемые уровни вибрации при частоте перехода 0,6 Гц

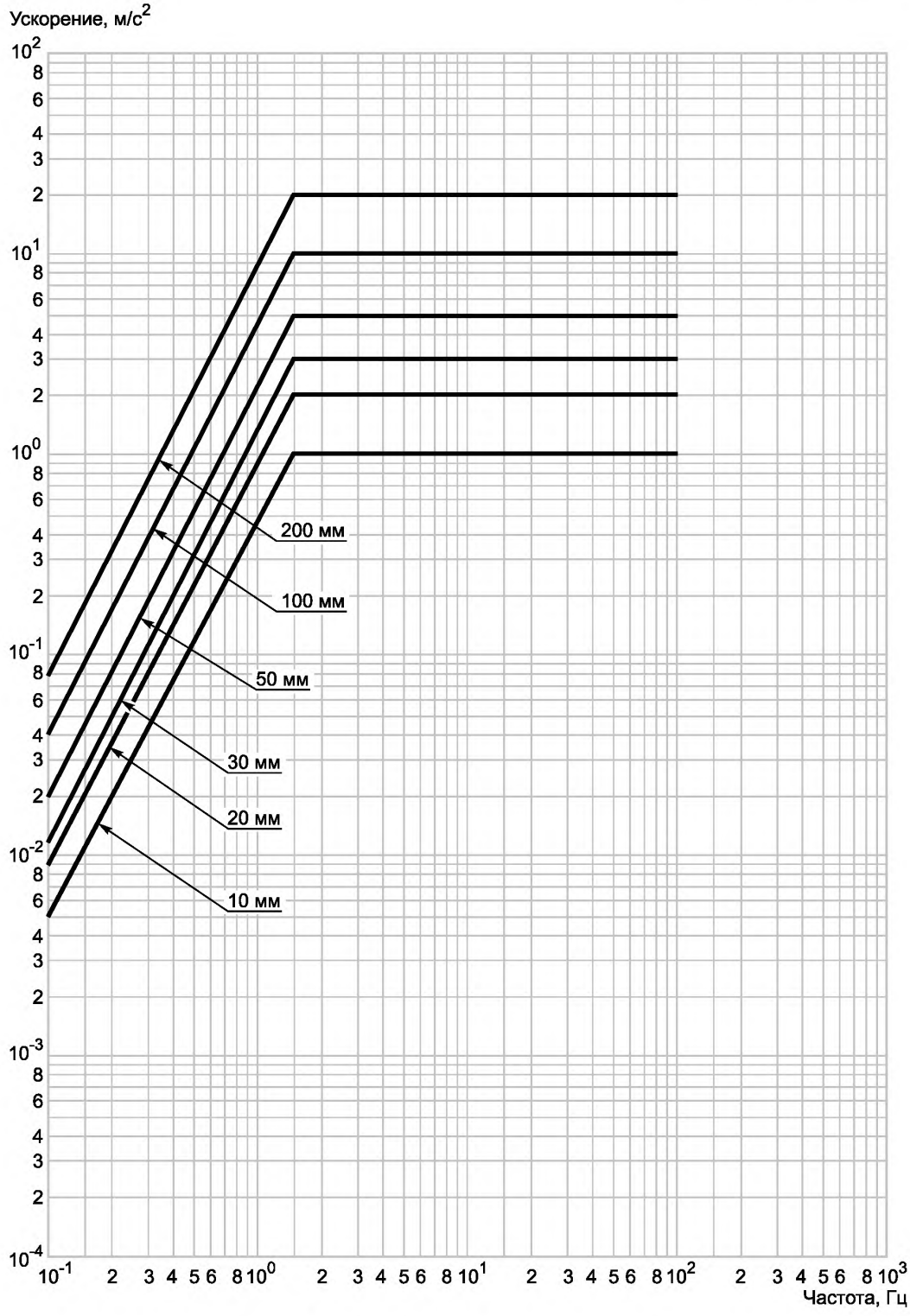


Рисунок 7 — Рекомендуемые уровни вибрации при частоте перехода 1,6 Гц

Таблица 5 — Рекомендуемые уровни вибрации для частоты перехода 8 Гц (см. рисунок 8)

Постоянное перемещение (ниже частоты 8 Гц), мм	Постоянное ускорение (выше частоты 8 Гц), м/с^2
0,4	1
0,8	2
1,2	3
2,0	5
4,0	10
8,0	20
12,0	30
20,0	50

Примечание 1 — Значения, приведенные в таблице, соответствуют пиковым значениям воспроизводимого возбуждения.

Примечание 2 — Значения ускорения могут быть выражены в единицах g_n (см. 3.9). В целях настоящего стандарта принято g_n = 10 м/с^2.

Если по каким-либо причинам значения, приведенные в таблицах 3—5, неприменимы, то в соответствующем нормативном документе могут быть указаны другие частоты перехода и согласованные с ними значения постоянного перемещения и постоянного ускорения. В ряде испытаний может потребоваться применение более одной частоты перехода (от постоянного перемещения к постоянной скорости и далее к постоянному ускорению).

5.6.2 Определение частот возбуждения

Испытания проводят на критических частотах, определенных в ходе исследования частотной характеристики образца, на заранее заданных частотах или на тех и других вместе.

Если в ходе исследований образца критические частоты выявлены не были, и в нормативном документе отсутствуют рекомендации по выбору частот возбуждения, то испытания проводят на нескольких частотах во всем диапазоне частот испытаний. Расстояние между двумя соседними частотами не должно превышать половины октавы (см. 5.3).

5.6.3 Определение формы сигнала

Форма сигнала возбуждения определяется частотой возбуждения и числом периодов несущей в пределах одного импульса (см. рисунок 2) в соответствии с 5.6.5 и 5.6.6.

5.6.4 Число периодов несущей в пределах импульса биений

В соответствующем нормативном документе указывают число периодов несущей в пределах одного импульса, выбирая его из ряда: 3, 5, 10, 20.

Примечание — Предпочтительным является выбор пяти периодов несущей в пределах импульса. Этот выбор подкрепляется практическим опытом и представляет собой компромисс между широкополосностью сигнала, связанной с неопределенностью значений критических частот, и требованием больших значений отклика конструкции образца (см. рисунок 9).

5.6.5 Частота модуляции

Частота модуляции определяется частотой возбуждения и числом периодов несущей в пределах одного импульса биений (см. также А.2.2.1).

5.6.6 Число импульсов биений

В соответствующем нормативном документе должно быть установлено число импульсов биений, выбираемое из ряда (см. рисунок 1): 1, 2, 5, 10, 20, 50.

5.6.7 Эффект малоцикловой усталости

В соответствующем нормативном документе может быть установлено требование к числу циклов высоких механических напряжений, превышающих некоторое заданное значение (см. А.2.4).

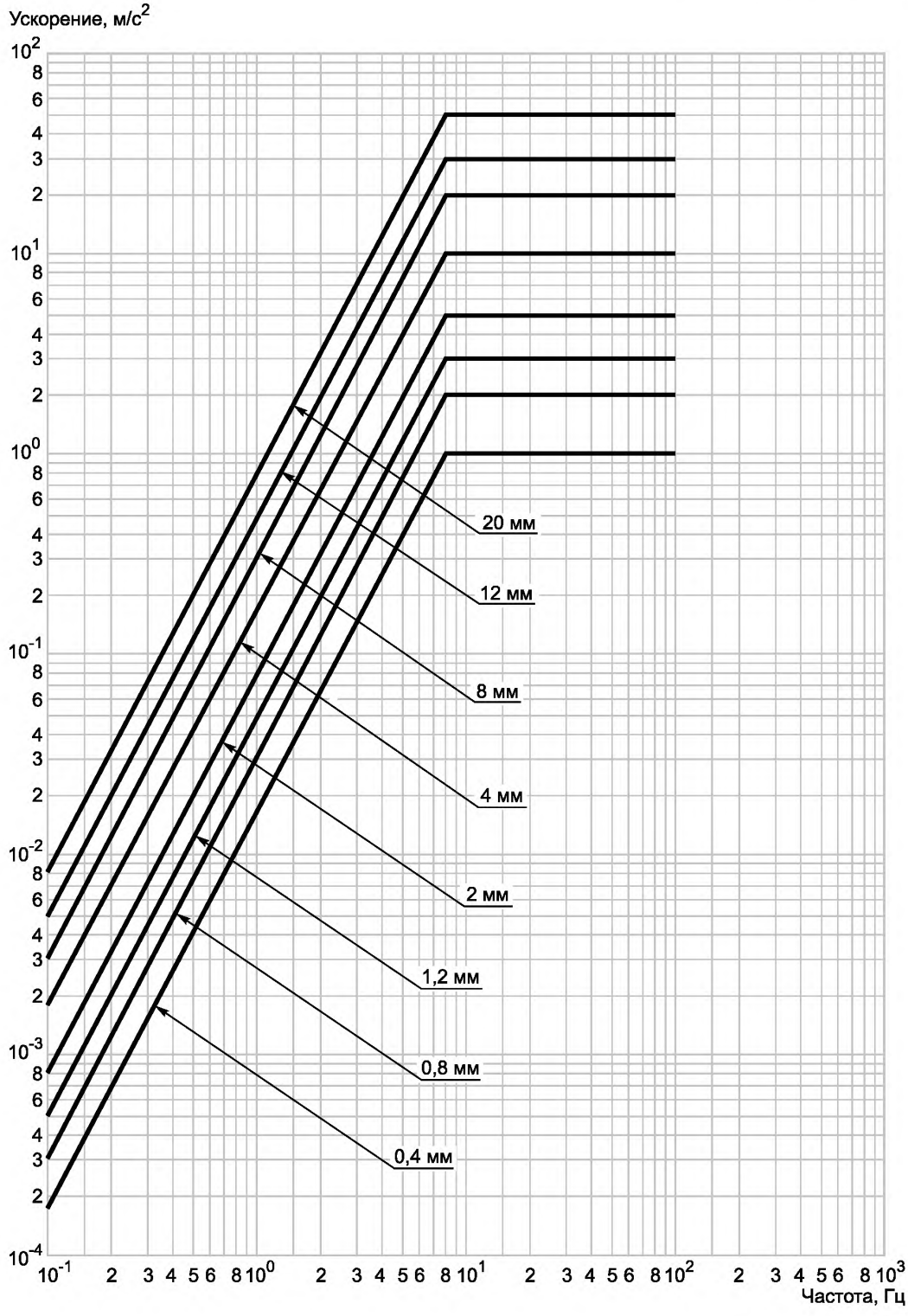


Рисунок 8 — Рекомендуемые уровни вибрации при частоте перехода 8 Гц

6 Подготовка образца

В соответствующем нормативном документе может быть установлено требование к начальной стабилизации образца перед проведением испытаний, например к его пребыванию в течение заданного времени в условиях определенной температуры и влажности.

7 Начальные измерения

Перед началом испытаний образец должен быть подвергнут визуальному осмотру, контролю размеров и проверке его функционирования в соответствии с требованиями соответствующего нормативного документа.

8 Проведение испытаний

8.1 Общие положения

В процессе испытаний, если иное не предписано соответствующим нормативным документом, образец подвергают воздействию вибрации согласно 8.2—8.4 по каждому из трех предпочтительных направлений. Если нормативным документом не предписан порядок приложения воздействия по разным направлениям, то его выбирают произвольно.

Нормативным документом может быть предписана также необходимость контроля помимо заданного уровня вибрации максимальной вынуждающей силы, прилагаемой к вибростолу. В этом случае должно быть указано предельно допустимое значение прилагаемой силы.

8.2 Исследования отклика образца

Если предписано соответствующим нормативным документом, то в диапазоне частот испытаний проводят исследование частотной характеристики с целью определить характер поведения образца под воздействием вибрации. Обычно такие исследования проводят посредством нагружения образца гармонической вибрацией с амплитудой, установленной в нормативном документе. Для получения отклика во всем диапазоне частот, как правило, применяют качание частоты со скоростью не более одной октавы в минуту, которую можно еще уменьшить, если это позволит лучше описать частотную характеристику образца (более точно установить критические частоты). Вместе с тем следует избегать длительного возбуждения вибрацией на одной частоте.

Пиковое значение возбуждения выбирают таким образом, чтобы отклик образца оставался на более низком уровне, чем в процессе основных испытаний с воспроизведением акселерограммы процесса или импульсов биений, но был достаточным для обнаружения критических частот.

Как вариант, для исследования частотной характеристики образца можно применять возбуждение широкополосной случайной вибрацией, как описано в IEC 60068-2-64:2008 (пункт 8.2).

Если испытания должны быть проведены с возбуждением импульсов биений, то очень важно, чтобы частота возбуждения была близка к критической (резонансной) частоте образца. В случае, если отклик образца является существенно нелинейным (примером такого изделия может служить устройство защиты от перенапряжений, в котором фарфоровые изоляторы разделены резиновыми прокладками), исследования проводят с возбуждением гармонической вибрации более высокого уровня. Если же отклик образца ожидается линейным или близким к линейному, то применение возбуждения широкополосной случайной вибрацией может оказаться предпочтительным.

Нормативным документом может быть установлено требование, чтобы во время исследования частотной характеристики образец функционировал в заданном режиме. Если функционирование образца препятствует определению характеристик отклика, 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.

Нормативным документом может быть предусмотрено проведение дополнительного исследования частотной характеристики образца после завершения испытаний с воспроизведением акселерограммы процесса или импульсов биений для того, чтобы сопоставить значения критических частот, полученных до и после испытаний. В этом случае тем же документом должно быть предписано, какие действия следует предпринять в случае, если эти значения не совпадут. Важно, чтобы исследования частотной характеристики до и после испытаний проводились одинаковым образом с одними и теми же уровнями возбуждения. Более подробные сведения об исследованиях частотной характеристики и критериях прохождения испытаний, основанных на сравнениях значений критических частот до и после испытаний, содержатся в IEC 60068-3-8.

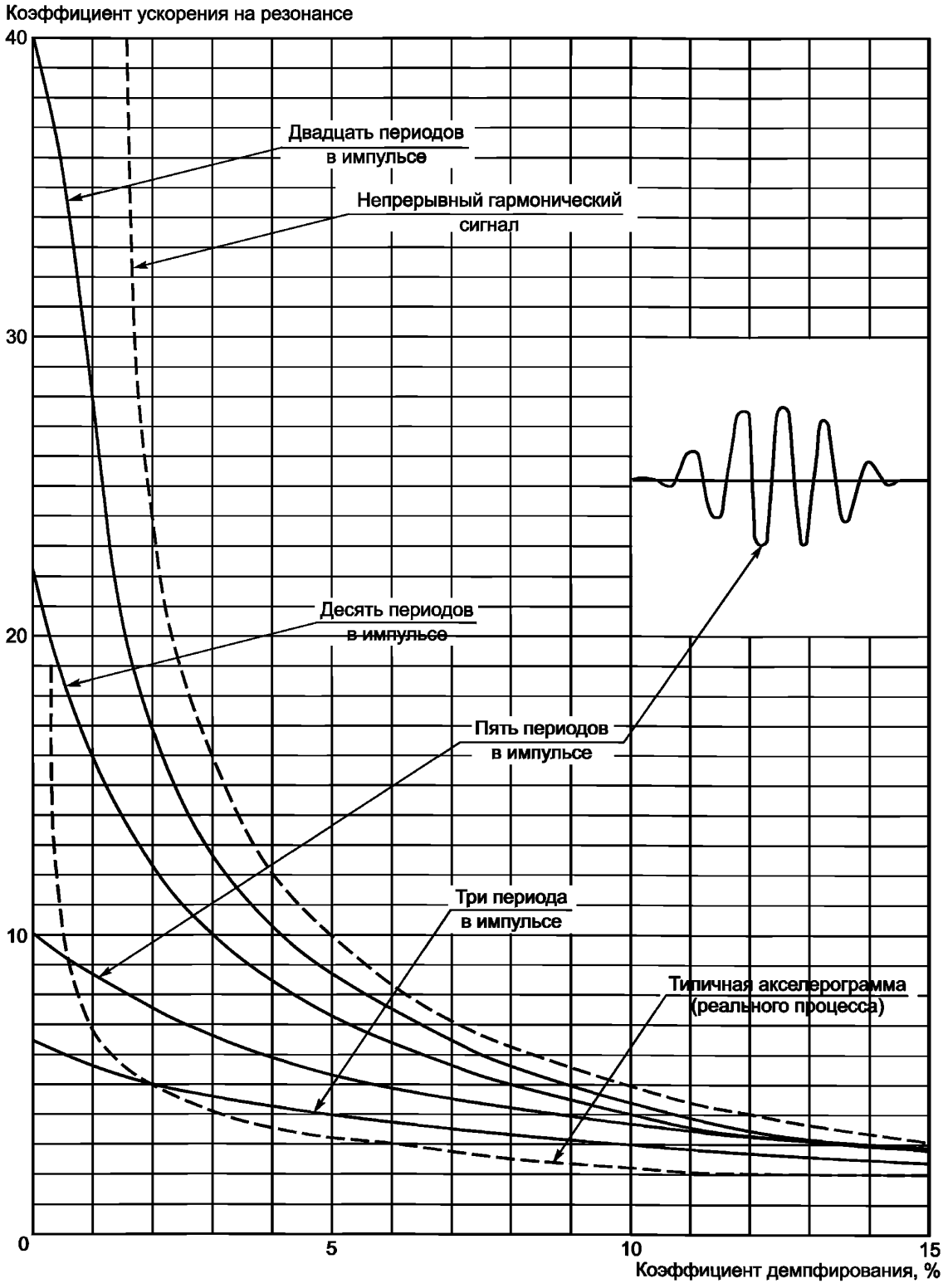


Рисунок 9 — Коэффициент усиления на резонансе для импульсов биений разной формы, непрерывного гармонического процесса и типичной акселерограммы реального процесса

8.3 Выдержка образца при воспроизведении акселерограммы процесса

Жесткость условий испытаний должна быть определена в соответствующем нормативном документе с учетом требований раздела 5. Каждому последующему воспроизведению акселерограммы должна предшествовать пауза, предотвращающая наложение откликов образца от разных акселерограмм. В нормативном документе указывают число направлений, в которых одновременно прикладывают вынуждающую силу: одно, два или три.

8.4 Выдержка образца при воспроизведении импульсов биений

Жесткость условий испытаний должна быть определена в соответствующем нормативном документе с учетом требований раздела 5. Каждому последующему импульсу должна предшествовать пауза, предотвращающая наложение откликов образца от разных импульсов. Осуществляют запись сигнала управления в контрольной точке и отражают результаты его измерений в протоколе испытаний. В нормативном документе указывают число направлений, в которых одновременно прикладывают вынуждающую силу: одно или два.

8.5 Направления возбуждения вибрации

8.5.1 Общие положения

Положения настоящего подраздела применимы к испытаниям с воспроизведением как заданной акселерограммы процесса, так и импульсов биений.

8.5.2 Одно направление возбуждения

Если в нормативном документе не указано иное, то вибрацию обычно одновременно возбуждают в одном направлении, последовательно изменяя направления возбуждения. Порядок направлений возбуждений не принципиален, если только он особо не оговорен в нормативном документе.

8.5.3 Два направления возбуждения

При данном способе возбуждения в каждой серии испытаний воздействия прикладывают одновременно по двум из предпочтительных направлений возбуждения образца. Если при этом воспроизводимые акселерограммы не являются независимыми, то каждое испытание повторяют, изменяя фазовый угол между ними на 180°. Испытания на биения по двум направлениям возбуждения проводят только в том случае, если такой режим указан в соответствующем нормативном документе.

8.5.4 Три направления возбуждения

При данном способе возбуждения в каждой серии испытаний воздействия прикладывают одновременно по трем предпочтительным направлениям возбуждения образца. Этот метод не используют для испытаний с воспроизведением импульсов биений.

9 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.

10 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.

11 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.

12 Сведения, приводимые в соответствующем нормативном документе

Если соответствующий нормативный документ устанавливает условия испытаний одного из видов, рассматриваемых в настоящем стандарте, то в нем, насколько это необходимо, должны быть

заданы требования к нижеперечисленным параметрам. Требования к параметрам, отмеченным звездочкой, при применении соответствующего метода испытаний должны быть заданы в обязательном порядке.

	Раздел или подраздел настоящего стандарта
a) Точки крепления образца*	4.3.2 и 4.5.1
b) Поперечная вибрация	4.3.3 и 4.4.2
c) Угловая вибрация	4.3.4 и 4.4.3
d) Измерительные точки	4.3.5
e) Допуск на сигнал	4.3.5.3
f) Допуск на амплитуду вибрации	4.3.6 и 4.5.2
g) Коэффициент демпфирования	4.3.9
h) Установка образца*	4.6
i) Заданный спектр отклика* (см. также А.1.3)	5.4
j) Число акселерограмм*	5.5.1
k) Длительность акселерограммы*	5.5.2
l) Длительность значимой части акселерограммы	5.5.3
m) Число циклов высоких напряжений	5.6.4
n) Уровень вибрации* (см. также А.2.3)	5.6
o) Число периодов несущей в импульсе*	5.6.4
p) Частота модуляции	5.6.5
q) Число импульсов биений в последовательности*	5.6.6
r) Подготовка образца	6
s) Начальные измерения*	7
t) Предпочтительные направления воздействия вибрации	8.1
u) Ограничения на вынуждающую силу	8.1
v) Исследование частотной характеристики образца	8.2
w) Контроль функционирования образца и его эксплуатационных характеристик	7, 9, 11
x) Направления одновременного возбуждения вибрации	8.5
y) Промежуточные измерения	9
z) Восстановление	10
aa) Заключительные измерения*	11

13 Сведения, приводимые в протоколе испытаний

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

a) Заказчик	(наименование организации, адрес)
b) Испытательная лаборатория	(наименование, адрес)
c) Идентификационные данные отчета	(дата составления, номер)
d) данные испытаний	
e) Цель испытаний	(доводочные испытания, приемка и т. д.)
f) Стандарт на испытания	(соответствующий метод испытаний)
g) Описание образца	(модель, номер, чертеж, фото, параметры)
h) Установка образца	(вид крепления, чертеж, фото и т. д.)
i) Характеристики вибрационной установки	(поперечная вибрация и др.)
j) Измерительная система, расположение датчиков	(описание, чертеж, фото и т. д.)
k) Инструментальная неопределенность	(стандартная неопределенность; результаты поверок, даты поверок)
l) Начальные, промежуточные, заключительные измерения	
m) Требуемая жесткость условий испытаний	(по нормативному документу на испытания)

n) Реальная жесткость условий испытаний (диапазон частот испытаний, заданный спектр отклика, число и длительность акселерограмм, число циклов высоких напряжений, уровень вибрации, число импульсов биений, число периодов несущей в импульсе и т. д.)

o) Результаты испытаний (состояние образца)

p) Наблюдения и действия во время испытаний

q) Резюме

r) Лицо, проводившее испытания (инициалы, фамилия, подпись)

s) Кому направляют результаты испытаний (список лиц, получающих протокол испытаний)

t) Направления воздействия вибрации (одно, два или три)

Во время испытаний ведут журнал испытаний, в котором регистрируют в хронологическом порядке изменение условий (параметров) испытаний, сделанные во время испытаний наблюдения, предпринятые действия, результаты измерений. Журнал испытаний может быть приложен к протоколу испытаний.

Примечание — См. также [3].

Приложение А
(справочное)

Руководство по проведению испытаний с воспроизведением акселерограммы процесса и импульсов биений

А.1 Вводные замечания

А.1.1 Общие положения

Для того, чтобы продемонстрировать способность испытуемых изделий противостоять динамическим воздействиям, существует ряд методов испытаний — от самого простого и широко распространенного с воспроизведением непрерывного гармонического возбуждения до специализированных, применяемых в конкретных обстоятельствах и призванных имитировать динамические воздействия, встречающиеся в процессе эксплуатации этих изделий. К последним относится, в частности, рассматриваемый в настоящем стандарте метод испытаний с воспроизведением акселерограммы процесса и импульсов биений. Вместе с тем применение данного метода не обязательно должно быть связано с наблюдаемыми реальными динамическими воздействиями на изделия.

Стандартизация условий испытаний, их параметров и допусков обеспечивает получение схожих результатов испытаний при их проведении разными лабораториями. Кроме того, это позволяет классифицировать изделия по группам в зависимости от их способности противостоять воздействию вибрации определенной жесткости.

В практике испытаний с приложением вибрационных воздействий обычным является этап исследования частотной характеристики образца с целью обнаружить его критические частоты в интересующем диапазоне частот. На последующем, основном этапе испытаний, когда образец подвергается воздействию вибрации заданной жесткости, возбуждение может осуществляться на установленных критических частотах в течение определенного времени.

Обычно исследование частотной характеристики образца выполняют с использованием однонаправленного гармонического возбуждения с циклом качания частоты по заданному диапазону. При этом амплитуда вибрации не должна быть слишком большой, чтобы производимое воздействие на образец не было сопоставимо с тем, что будет иметь место на основном этапе испытаний, а скорость качания частоты должна быть достаточно медленной, чтобы не допускать проскоков критических частот.

Исследования частотной характеристики могут выполняться не только до, но и после испытаний образца на вибрацию с заданной жесткостью. В этом случае сравнение двух частотных характеристик позволяет выявить изменения, случившиеся с образцом в процессе испытаний. Обнаружение таких изменений может свидетельствовать о накопившихся усталостных повреждениях в образце и его непригодности к дальнейшей эксплуатации (см. IEC 60068-3-8).

Особого внимания требуют испытания образцов больших размеров или большой массы, у которых центр тяжести может находиться на значительном удалении от геометрического центра образца. Такие образцы провоцируют появление паразитных поперечных и угловых колебаний вибростола, при которых соблюдение допусков на воспроизводимую вибрацию становится затруднительным.

А.1.2 Испытания с воспроизведением акселерограммы процесса

Этот метод испытания обычно применяют в ситуациях, когда:

a) требуется как можно более точно воспроизвести реальные условия динамических воздействий на изделие;

b) информации об испытуемом образце недостаточно и получить ее затруднительно (например, информацию о критических частотах образца).

По сравнению с другими методами испытаний на вибрацию, данный метод позволяет избежать чрезмерного нагружения образца, поскольку используемое в нем воздействие близко по своей природе к реальным воздействиям на изделие в процессе его применения, и вероятность появления избыточных механических напряжений и усталостных повреждений меньше, чем это бывает при применении других методов.

Спектр отклика, который соответствует реальным условиям эксплуатации, устанавливают при разработке соответствующего нормативного документа. Обычно при этом используют коэффициент демпфирования, соответствующий реальному демпфированию образца. Такой спектр отклика называют заданным. Лаборатория, проводящая испытания образца, должна обеспечить воспроизведение заданного спектра отклика, однако вибрации, в действительности возбуждаемой в процессе испытаний, соответствует несколько иной спектр отклика, который называют реальным. Для проверки соблюдения условий испытаний реальный спектр отклика сравнивают с заданным. Условия считают соблюденными, если кривая реального спектра отклика не опускается ниже кривой заданного спектра отклика во всем диапазоне частот. Для получения реального спектра отклика часто проводят предварительные пробные испытания, в которых испытуемый образец заменяют эквивалентной массой. Это

позволяет лаборатории корректировать возбуждаемую вибрацию, не перегружая образец и не вызывая в нем лишних усталостных повреждений.

Допуски на реальный спектр отклика должны быть указаны в соответствующем нормативном документе, однако если отдельные точки незначительно выходят за область допуска (см. рисунок 4), то условия испытаний еще можно считать выполненными. В некоторых случаях при испытании образца значительной массы или больших размеров может оказаться невозможным воспроизведение вибрации на определенных частотах в пределах заданных допусков. В этом случае нормативным документом может быть предусмотрено расширение границ допуска или выполнение испытаний другим методом (см. также 4.4.4).

Метод воспроизведения заданной акселерограммы требует использования сложной и точной аппаратуры, а также цифровой обработки данных для управления испытаниями и анализа вибрации.

А.1.3 Рекомендации по синтезу заданного спектра отклика

Данные рекомендации применяют в ситуациях, когда реальные условия возбуждения образца при эксплуатации известны неточно. В этом случае спектр отклика задают в логарифмическом масштабе по обеим осям в форме, показанной на рисунке А.1, для чего:

a) определяют диапазон частот испытаний (от f_1 до f_2) согласно таблице 2;

b) определяют ускорение нулевого периода (в единицах g_n), обычно выбирая его значение из ряда: 1, 2, 5, 10, 20;

c) на участке между f_1 и $2f_1$ кривую спектра отклика задают линейно возрастающей со скоростью 12 дБ/октава;

d) уровень плоского участка максимума спектра отклика между частотами $2f_1$ и $f_2/3$ задают в единицах ускорения нулевого периода равным

- 2,24 при коэффициенте демпфирования 10 %,
- 3 при коэффициенте демпфирования 5 %,
- 5 при коэффициенте демпфирования 2 %.

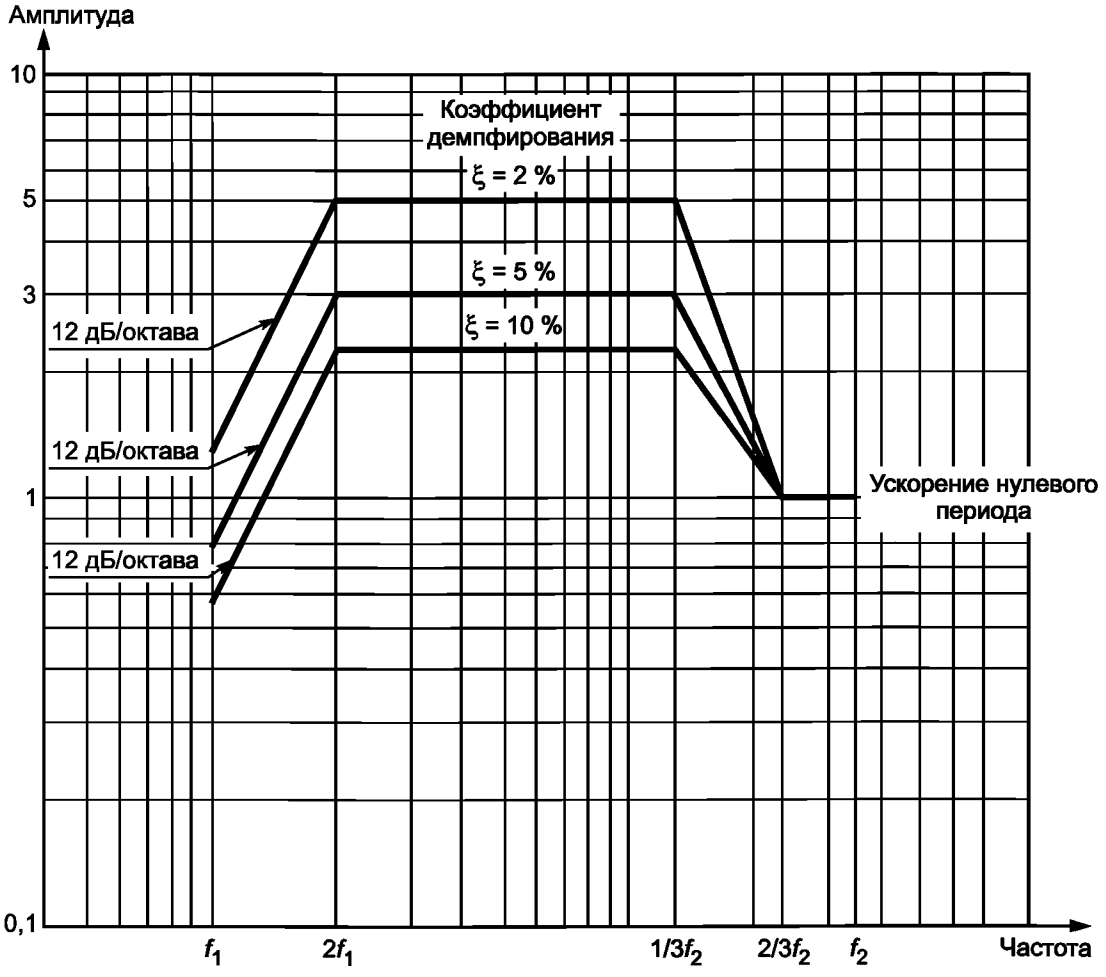


Рисунок А.1 — Рекомендуемая общая форма для заданного спектра отклика

е) на участке между $f_2/3$ и $2f_2/3$ спектр отклика задают спадающим по линейному закону до значения ускорения нулевого периода.

Спектр отклика задают для каждого направления поступательного возбуждения отдельно или, по крайней мере, используют два спектра отклика — один для возбуждения в горизонтальном направлении и другой для возбуждения в вертикальном направлении.

Если коэффициент демпфирования образца находится в диапазоне от 2 % до 10 %, то рекомендуется при задании спектра отклика использовать значение 5 %. Если типичный коэффициент демпфирования образца меньше или равен 2 %, то рекомендуется при задании спектра отклика использовать значение 2 %, а если коэффициент демпфирования больше или равен 10 %, то рекомендуется при задании спектра отклика использовать значение 10 %.

Примечание — Если частота f_1 лежит ниже 0,8 Гц, то на участке от f_1 до 1,6 Гц спектр отклика растет по линейному закону со скоростью 12 дБ/октава.

А.1.4 Число циклов высоких напряжений

Воспроизведение эффектов малоцикловой усталости, обусловленной воздействием вибрации (например, вследствие землетрясений или взрывов), требует моделирования условий применения изделия с максимально возможной точностью. При отсутствии достаточной информации об условиях применения изделия или если моделирование таких условий сопряжено с трудностями, то жесткость условий испытаний задают с некоторым запасом. Обычно этот запас определяют, исходя из наиболее неблагоприятных возможных условий применения. Так, в случае моделирования возбуждения последовательностью импульсов биений с некоторым запасом должны быть определены уровень вибрации и число импульсов в последовательности.

В случае испытаний с воспроизведением акселерограммы процесса запас по жесткости условий испытаний обеспечивают тем, что, во-первых, кривая реального спектра отклика не должна быть ниже кривой заданного спектра отклика. Это обеспечит получение максимального требуемого отклика от каждого осциллятора. Во-вторых, длительность значимой части акселерограммы должна быть равна или больше характерной длительности соответствующего природного процесса.

Такой подход может оказаться недостаточным, поскольку не в полной мере учитывает влияние быстропеременных воздействий высокого уровня. Такие воздействия особенно опасны для образца, если они имеют место на его резонансных частотах и вызывают неупругие деформации. В этом случае помочь в выборе подходящих условий испытаний может моделирование динамических воздействий, которым изделие подвергается на практике.

Совместный анализ сигналов, моделирующих определенные воздействия в природных условиях, и свойств образца позволяет при необходимости учесть влияние циклов высоких напряжений. На практике это осуществляют, подсчитывая число циклов высоких напряжений, превышающих некоторый установленный уровень, для каждого осциллятора из ансамбля, определяющего спектр отклика. Поскольку накопление усталостных повреждений резко замедляется с уменьшением амплитуды, зачастую достаточно принимать во внимание только большие пики, превышающие заданный уровень (см. рисунок 5). Последний во многом зависит от свойств материала образца накапливать усталостные повреждения и расположения областей, где усталостные повреждения имеют место.

А.2 Испытания с воспроизведением импульсов биений

А.2.1 Общие положения

Данный метод испытаний хорошо подходит для ситуаций, когда изделие при его практическом использовании подвергается воздействию пульсаций или осцилляций короткой длительности, чьи характеристики точно не известны. В частности, это относится к испытаниям оборудования, устанавливаемое внутри сооружений, которые сами могут являться объектом случайного или полигармонического воздействия. В ответ на такое воздействие конструкция сооружения совершает колебания на резонансных частотах, которые воздействуют на установленное оборудование и могут быть хорошо описаны последовательностью синусоидальных импульсов с гармоническим заполнением. Таким образом, испытания с воспроизведением импульсов биений соответствуют реальным условиям возбуждения изделия при его использовании. Кроме того, возбуждение в форме последовательности импульсов с заполнением обеспечивает воздействие более широкополосное, а значит вызывающее меньшее повреждение образца, чем при непрерывном гармоническом возбуждении.

Частоту заполнения импульсов определяют на основе исследований частотной характеристики образца либо задают заранее. Возможна также комбинация этих двух подходов. Если никакой предварительной информации для определения частоты несущей нет, то испытания проводят с разными частотами несущей, изменяя их последовательно с шагом, не превышающим половину октавы, так чтобы охватить весь диапазон частот испытаний. Чем больше у образца критических частот, тем менее подходящим будет данный метод испытаний ввиду недостаточной репрезентативности условий испытаний для механизма накопления усталостных повреждений. В этом случае рекомендуется рассмотреть возможность применения других методов.

А.2.2 Соотношения между сигналами возбуждения в форме перемещения, скорости и ускорения

А.2.2.1 Вид сигнала возбуждения

Математическое выражение сигнала возбуждения $fa(t)$ в форме импульса с заполнением имеет вид

$$a(t) = a_0 \sin(2\pi ft) \sin\left(\frac{2\pi ft}{\rho}\right),$$

где $0 \le t \le \frac{\rho}{2f}$;

a_0 — уровень вибрации (ускорения);

f — частота возбуждения;

ρ — отношение частоты возбуждения к частоте модуляции.

Поскольку величины ускорения, скорости и перемещения взаимосвязаны, только одну из них используют для определения сигнала возбуждения, после чего форма сигнала возбуждения может быть пересчитана для двух других величин.

Если в качестве базовой величины взять ускорение, то значение перемещения в конце импульса будет в общем случае отлично от нуля.

Чтобы уменьшить этот эффект, в А.2.2.2 рассматриваются формы сигналов, полученных с использованием в качестве базовой величины скорости вибрации.

А.2.2.2 Взаимосвязь сигналов возбуждения для разных величин

Если в качестве базовой величины принять скорость $v(t)$, то выражение для импульса с гармоническим заполнением будет иметь вид

$$v(t) = \frac{a_0}{2\pi f} \sin(2\pi ft) \sin\left(\frac{2\pi ft}{m}\right)$$

или

$$v(t) = \frac{a_0}{2\pi f} \frac{1}{2} \left[\cos 2\pi\left(1-\frac{1}{m}\right) ft - \cos 2\pi\left(1+\frac{1}{m}\right) ft\right],$$

где $0 \le t \le \frac{m}{2f}$, а m — отношение частоты возбуждения к частоте модуляции для сигнала ускорения, равное $2n$, где

n — число периодов несущей в импульсе ускорения.

Тогда сигнал импульса для ускорения и перемещения можно записать в виде соответственно:

$$a(t) = a_0 \frac{1}{2}\left[\left\{-\left(1-\frac{1}{m}\right) \sin 2\pi\left(1-\frac{1}{m}\right) ft\right\} + \left\{\left(1+\frac{1}{m}\right) \sin 2\pi\left(1+\frac{1}{m}\right) ft\right\}\right],$$

$$d(t) = \frac{a_0}{(2\pi f)^2} \frac{1}{2}\left[\left(\frac{1}{1-\frac{1}{m}}\right) \sin 2\pi\left(1-\frac{1}{m}\right) ft - \left(\frac{1}{1+\frac{1}{m}}\right) \sin 2\pi\left(1+\frac{1}{m}\right) ft\right].$$

Примечание 1 — Сигналы, описываемые вышеприведенными формулами для случая $n = 5$, показаны на рисунке А.2.

Примечание 2 — Представление импульса с заполнением в виде суммы двух гармонических сигналов с близкими частотами обусловливает применение термина «биение».

А.2.3 Уровень вибрации

Соотношения между уровнями вибрации, описываемой в единицах перемещения, скорости и ускорения, могут быть определены с достаточной точностью тем же способом, что и для чисто гармонической вибрации с постоянной частотой. Так, если задан уровень вибрации для ускорения a_0, то уровни вибрации (пиковые значения) для скорости v_0 и перемещения d_0 могут быть получены по приближенным формулам:

$$v_0 \approx \frac{a_0}{2\pi f},$$

$$d_0 \approx \frac{a_0}{4\pi^2 f^2}.$$

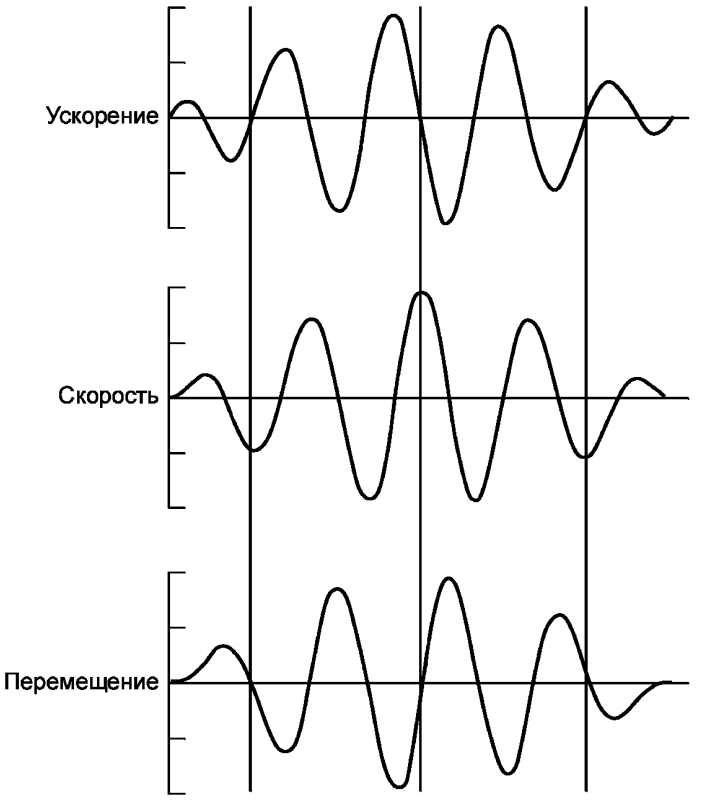


Рисунок А.2 — Стандартизованное представление согласованных импульсов биений сигналов ускорения, скорости и перемещения (пять периодов несущей в одном импульсе для сигнала ускорения)

А.2.4 Малоцикловая усталость

См. А.1.4.

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов межгосударственным стандартам

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего межгосударственного стандарта
IEC 60068-1	—	*
IEC 60068-2-6:2007	—	*
IEC 60068-2-47:2005	—	*
IEC 60068-2-64:2008	—	*
IEC 60068-3-3:1991	—	*
IEC 60068-3-8	—	*,[1)]
* Соответствующий межгосударственный стандарт отсутствует. До его принятия рекомендуется использовать перевод данного международного стандарта на русский язык.		

[1)] В Российской Федерации действует ГОСТ Р МЭК 60068-3-8—2015 «Методы испытаний на стойкость к механическим внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Выбор метода испытаний на вибрацию».

Библиография

[1] IEC 60068-2-59:1990, Environmental testing — Part 2-59: Test methods — Test Fe: Vibration — Sine-beat method[1)]
[2] IEC 60068-2-81, Environmental testing — Part 2-81: Tests — Test Ei: Shock — Shock response spectrum synthesis
[3] ISO/IEC 17025, General requirements for the competence of testing and calibration laboratories
[4] ISO 2041, Mechanical vibration, shock and condition monitoring — Vocabulary

[1)] Отменен и заменен на IEC 60068-2-57:2013.

УДК 534.1:006.354 МКС 19.040
29.020 IDT

Ключевые слова: вибрация, вибрационные испытания, вибропрочность, виброустойчивость, машины, приборы, измерения, частотная характеристика, жесткость условий испытаний, акселерограмма процесса, биения гармонического сигнала, импульс биений

Редактор *Л.Б. Базякина*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *Ю.М. Прокофьева*
Компьютерная верстка *А.Н. Золотаревой*

Сдано в набор 13.02.2017. Подписано в печать 02.03.2017. Формат 60×84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 4,18. Уч.-изд. л. 3,79. Тираж 30 экз. Зак. 380.
Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

Издано и отпечатано во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123995 Москва, Гранатный пер., 4.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru