ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 53190— 2008 (МЭК 60068-2-81:2003)

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

ИСПЫТАНИЯ НА УДАР С ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕМ УДАРНОГО СПЕКТРА

IEC 60068-2-81:2003
Environmental testing —
Part 2-81: Tests — Test Ei: Shock — Shock response spectrum synthesis
(MOD)

Издание официальное

БЗ 11—2008/400

Москва
Стандартинформ
2009

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены Федеральным законом от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», а правила применения национальных стандартов Российской Федерации — ГОСТ Р 1.0—2004 «Стандартизация в Российской Федерации. Основные положения»

Сведения о стандарте

1 ПОДГОТОВЛЕН Открытым акционерным обществом «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем» (ОАО «НИЦ КД») на основе собственного аутентичного перевода стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 183 «Вибрация и удар»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 18 декабря 2008 г. № 640-ст

4 Настоящий стандарт модифицирован по отношению к международному стандарту МЭК 60068-2-81:2003 «Испытания на воздействие внешних факторов. Часть 2-81. Испытания. Испытание Ei. Удар. Воспроизведение ударного спектра» (IEC 60068-2-81:2003 «Environmental testing — Part 2-81: Tests — Test Ei: Shock — Shock response spectrum synthesis») путем внесения технических отклонений, объяснение которых приведено во введении к настоящему стандарту.

Наименование настоящего стандарта изменено относительно наименования указанного международного стандарта для приведения в соответствие с ГОСТ Р 1.5—2004 (пункт 3.5)

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты», а текст изменений и поправок — в ежемесячно издаваемых информационных указателях «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ежемесячно издаваемом 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

© Стандартинформ, 2009

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 Требования к испытательному оборудованию 6
5 Требования к режимам испытаний 7
6 Степень жесткости условий испытаний 9
7 Начальная стабилизация 10
8 Начальные измерения 10
9 Проведение испытаний 10
10 Промежуточные измерения 14
11 Конечная стабилизация 14
12 Заключительные измерения 14
13 Сведения, приводимые в соответствующем нормативном документе 14
14 Сведения, приводимые в протоколе испытаний 15
Приложение А (справочное) Информация, учитываемая при формировании временного сигнала возбуждения 16
Приложение В (справочное) Параметры, используемые при формировании временного сигнала возбуждения 18
Приложение С (справочное) Синтез временного сигнала возбуждения 21
Приложение D (рекомендуемое) Рекомендуемый диапазон частот испытаний с воспроизведением ударного спектра 23

Введение

Настоящий стандарт устанавливает метод испытаний на удар машин и оборудования всех видов, для которых в процессе эксплуатации характерно воздействие переходных процессов сложной формы.

Метод испытаний предполагает преимущественное использование вибростендов электродинамического или гидравлического типа в режиме воспроизведения ударных процессов в сочетании с системой управления. Могут быть использованы также вибростенды других типов при условии, что они позволяют воспроизвести заданные условия испытаний.

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 воздействия следует указывать те процессы, которые соответствуют реальным условиям применения изделия.

По сравнению с международным стандартом МЭК 60068-2-81:2003 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».

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

ИСПЫТАНИЯ НА УДАР С ВОСПРОИЗВЕДЕНИЕМ УДАРНОГО СПЕКТРА

Environmental dynamic test methods for machines, instruments and other technical articles.
Shock tests with shock response spectrum synthesis

Дата введения — 2010—01—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 переходных процессов сложной формы.

Целью испытаний является подтверждение способности изделия выдерживать воздействия в виде переходных процессов, установленные стандартами или техническими условиями на продукцию (далее — нормативные документы), без существенных повреждений и ухудшений его эксплуатационных характеристик. При этом рекомендуется при задании воспроизводимого воздействия использовать результаты измерений, проведенных в реальных условиях применения 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 17168—82 Фильтры электронные октавные и третьоктавные. Общие технические требования и методы испытаний

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 30630.1.2—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)

ГОСТ 30630.1.8—2002 (МЭК 60068-2-57:1989) Методы испытаний на стойкость к механическим внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Испытания на воздействие вибрации с воспроизведением заданной акселерограммы процесса (МЭК 60068-2-57:1989 «Испытания на воздействие внешних факторов. Часть 2. Испытания. Испытание Ff. Вибрация, задаваемая в форме акселерограммы», MOD)

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. Ме-

Издание официальное

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

3.2 **критический коэффициент демпфирования** (critical damping): Наименьшее значение коэффициента демпфирования, при котором система, выведенная из состояния равновесия, возвращается в свое исходное положение за кратчайшее время без переколебаний.

3.3 **критическая частота** (critical frequency): Частота колебаний, вызывающих (при их достаточно высоком уровне) неправильное функционирование образца, ухудшение его функциональных характеристик, механический резонанс или другие негативные эффекты отклика, например дребезжание.

3.4 **демпфирование** (damping): Обобщенная характеристика системы, описывающая уменьшение ее колебаний вследствие рассеяния механической энергии.

Примечание — На практике демпфирование зависит от таких характеристик системы, как форма конструкции, формы собственных колебаний, внутренние напряжения в конструкции, приложенные силы, уровень колебаний, материал конструкции, проскальзывание в соединениях и др.

3.5 **коэффициент демпфирования** (damping ratio): Отношение коэффициента демпфирования системы к ее критическому коэффициенту демпфирования для систем с вязкостным демпфированием.

3.6 **децибел;** дБ (decibel, dB): Отношение двух величин в логарифмическом масштабе.

Примечание — Величина L, выражаемая в децибелах, связана с отношением двух других величин, X и X_0, формулой

$$L = 20\lg\left(\frac{X}{X_0}\right).$$

3.7 **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.

3.8 **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.

3.9 **окно Ханна** (Hanning window): Временная весовая функция в форме косинусоидального колокола, подавляющая значения реализации сигнала в начале и в конце записи.

3.10 **высокочастотная асимптота;** ВЧА (high-frequency asymptote, HFA): Значение, к которому асимптотически стремится кривая ударного спектра в области высоких частот.

Примечание 1 — Знание высокочастотной асимптоты важно с практической точки зрения, поскольку она совпадает с пиковым значением сигнала возбуждения. Не следует его путать с пиковым значением ударного спектра.

Примечание 2 — Другое название высокочастотной асимптоты — ускорение нулевого периода.

3.11 **точки измерений** (measuring points): Специальные точки трех видов, в которых проводят сбор данных при проведении испытаний.

3.11.1 **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.

Примечание 1 — Чтобы убедиться в точном соблюдении требований испытаний, используют несколько проверочных точек.

Примечание 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.

Примечание 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.

Примечание 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.

3.11.2 **контрольная точка** (reference point): Одна из проверочных точек, сигнал с которой используют для управления режимом испытаний.

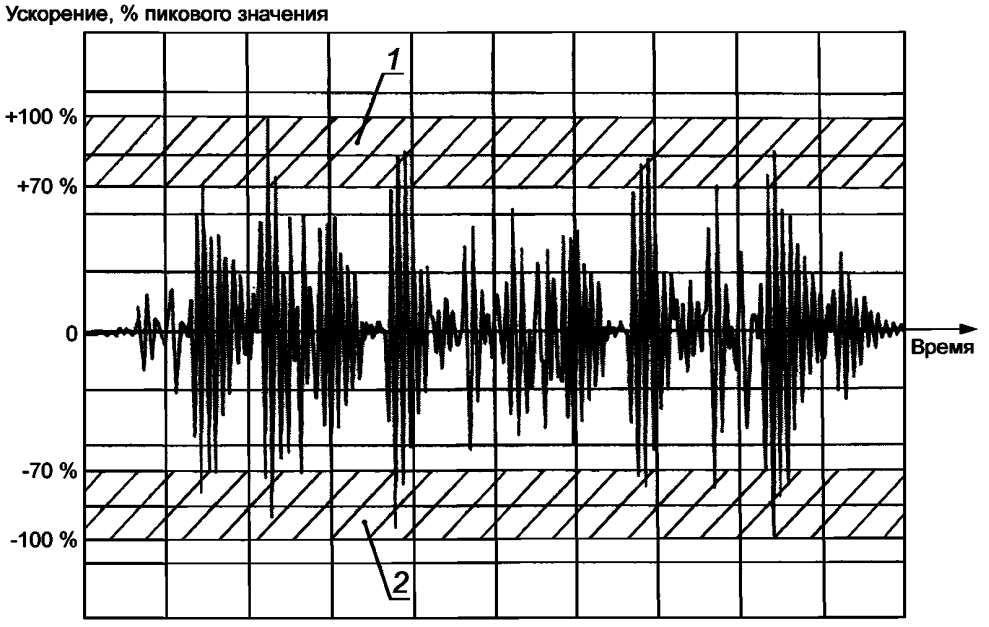
3.11.3 **точка измерения отклика** (response points): Точка на образце, в которой проводят сбор данных при исследовании частотной характеристики образца.

Примечание 1 — Точек измерения отклика может быть несколько.

Примечание 2 — Эти точки не совпадают с проверочными или контрольными точками.

3.12 **собственная частота** (natural frequency): Частота свободных колебаний конструкции (периодических или затухающих), зависящая только от физических характеристик этой конструкции (массы, жесткости и коэффициента демпфирования).

3.13 **число больших пиков отклика** (number of high peaks of the response time-history): Полученное по результатам измерений (в точке измерения отклика) или расчетов отклика системы с одной степенью свободы (осциллятора) на заданное воздействие число пиков временного сигнала, превышающих заданное пороговое значение (см. рисунок 1).



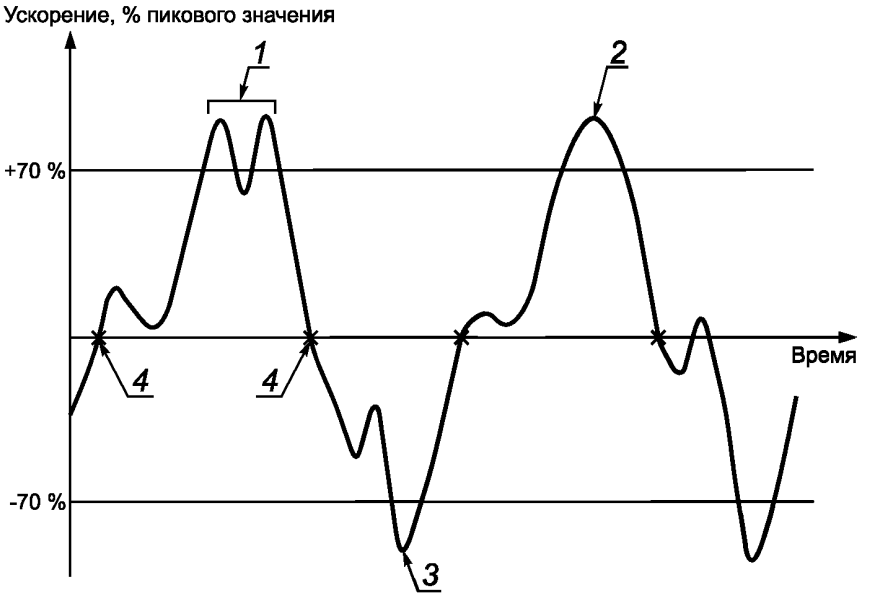
1 — область положительных пиков, превышающих пороговое значение (+ 70 %);
2 — область отрицательных пиков, превышающих пороговое значение (–70 %)

Рисунок 1 — Пример отклика осциллятора на заданный временной сигнал возбуждения

Примечание 1 — Подсчет числа пиков в сигнале отклика используют потому, что цикличность этого сигнала маскируется наличием переходных процессов.

Примечание 2 — Под пиком сигнала понимают его отклонение от нуля в сторону положительных или отрицательных значений между двумя последовательными пересечениями нулевого уровня (см. рисунок 2).

Примечание 3 — Согласно настоящему стандарту предпочтительным является определение числа больших пиков по расчетам, а не измерениям, поскольку последние не всегда возможно выполнить.



1 — 1-й пик; *2* — 3-й пик; *3* — 2-й пик; *4* — точки пересечения нуля

Рисунок 2 — Пример идентификации пиков отклика, превышающих пороговое значение (70 %)

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

3.15 **пауза** (pause): Интервал времени между двумя последовательными воспроизведениями заданного возбуждения.

Примечание — Длительность паузы T, в секундах, следует выбирать такой, чтобы избежать значительных наложений отклика образца. Рекомендуемое значение T должно удовлетворять условию

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

где f — первая собственная частота незатухающих колебаний образца, в герцах;

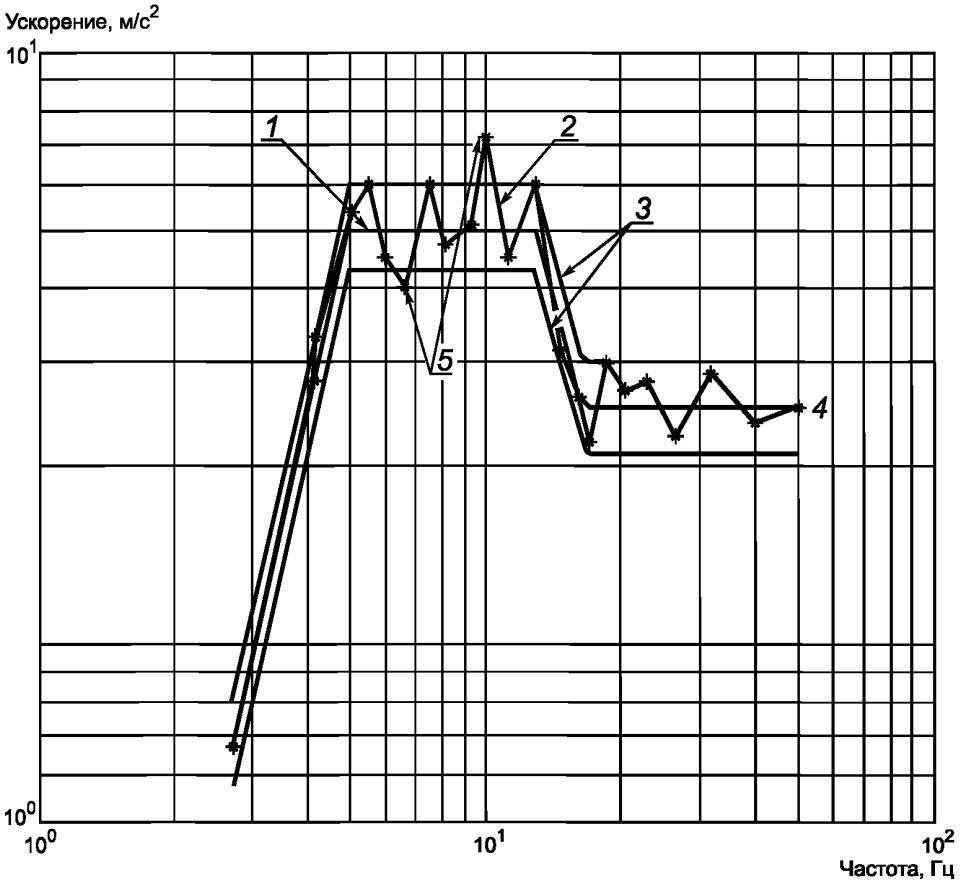
d — коэффициент критического демпфирования на частоте f, в герцах.

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

3.17 **добротность** (Q-factor): Величина, характеризующая степень остроты резонанса или избирательность по частоте колебательной механической системы с одной степенью свободы и обратная удвоенному коэффициенту демпфирования.

3.18 **заданный ударный спектр** (required SRS): Ударный спектр, форма которого установлена соответствующим нормативным документом (см. рисунок 3).

Примечание — Нормативным документом может быть определено несколько ударных спектров для разных значений добротности, каждый из которых используют в конкретном случае.



1 — заданный ударный спектр; *2* — реальный ударный спектр; *3* — область допуска (± 1,5 дБ); *4* — ВЧА; *5* — точки ударного спектра за пределами области допуска

Рисунок 3 — Типичный график ударного спектра (в логарифмическом масштабе)

3.19 **ударный спектр** (shock response spectrum, SRS): График зависимости максимального отклика (перемещения, скорости или ускорения) на заданное входное воздействие ансамбля осцилляторов с заданным значением добротности от собственных частот колебаний этих осцилляторов без учета демпфирования.

Примечание 1 — При расчетах, если иное не обусловлено, используют линейные системы с одной степенью свободы с вязкостным демпфированием.

Примечание 2 — Нормативным документом для одних и тех же испытаний может быть установлено несколько ударных спектров для разных значений добротности, из которых выбирают то, что в наибольшей степени соответствует испытуемому образцу.

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

3.21 **допуск на сигнал** (signal tolerance): Величина, выражаемая в процентах и определяемая формулой

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

где NF — среднеквадратичное значение задающего сигнала;

F — среднеквадратичное значение сигнала, воспроизведенного на вибростоле.

Примечание 1 — Данный параметр не зависит от того, какой параметр вибрации (ускорение, скорость или перемещение) используют для управления испытаниями.

Примечание 2 — Данный параметр применяют только для возбуждения синусоидальной вибрацией.

3.22 **значимая часть временного сигнала** (strong part of the time-history): Участок временного сигнала 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 4).

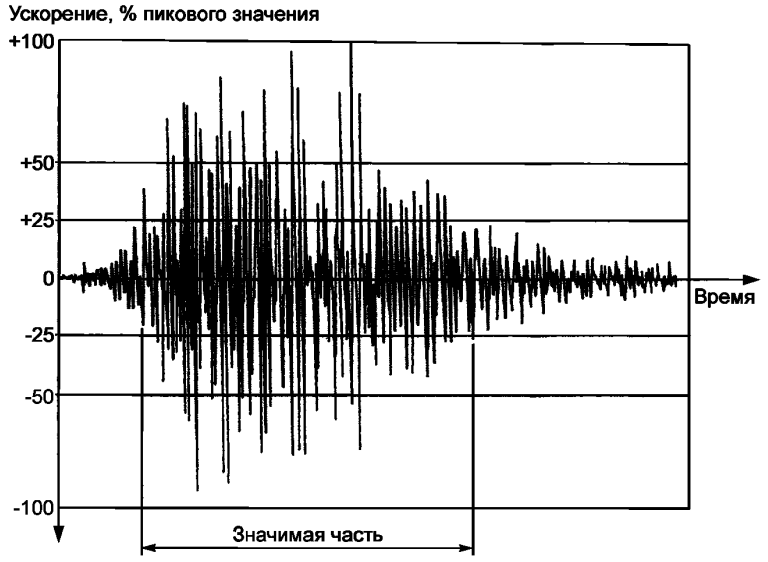


Рисунок 4 — Типичная форма временного сигнала возбуждения

3.23 **синтезированный временной сигнал** (synthesized time-history): Временной сигнал, созданный искусственно таким образом, чтобы его ударный спектр был всюду не ниже заданного ударного спектра.

3.24 **диапазон частот испытаний** (test frequency range): Диапазон частот между нижней f_1 и верхней f_2 границами, соответствующими низшей и высшей частотам используемых для синтезирования временного сигнала вейвлетов, который зависит от формы заданного ударного спектра и возможностей испытательного оборудования с установленным образцом.

Примечание — Диапазон частот, в котором задан ударный спектр, шире диапазона частот испытаний и теоретически бесконечен (см. 3.10).

3.25 **реальный ударный спектр** (test SRS): Ударный спектр, рассчитанный по сигналу в контрольной точке вибростенда теоретически или с помощью средств анализа ударных спектров (см. рисунок 3).

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

3.27 **временное окно** (time window): Длительность синтезированного временного сигнала, включающего в себя все заданные вейвлеты.

Примечание — Некоторые системы управления предусматривают удвоение временного окна и центрирование синтезированного временного сигнала относительно этого окна.

3.28 **вейвлет** (wavelet): Временной сигнал на некоторой частоте, используемый для формирования сигнала возбуждения при испытаниях с воспроизведением заданного ударного спектра.

Примечание — Термин «вейвлет» в том смысле, как он применен в настоящем стандарте, не следует путать с аналогичным термином, используемым в теории вейвлетов или вейвлет-анализе.

4 Требования к испытательному оборудованию

Устанавливаемые характеристики испытательного оборудования 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.

Требования, установленные в 4.1 — 4.3, проверяют при возбуждении гармоническими колебаниями.

4.1 Воспроизводимое движение

При поверке испытательного оборудования воспроизводимое движение представляет собой гармонические колебания, которые во всех точках крепления образца должны быть приблизительно одинаковыми и поступательными в пределах ограничений, установленных в 4.2 и 4.3.

4.2 Поперечные колебания

В диапазоне частот до 1000 Гц пиковое значение ускорения или перемещения в проверочных точках в любом направлении, перпендикулярном к направлению возбуждения, не должно превышать 50 % пикового значения ускорения или перемещения в основном направлении возбуждения. На частотах свыше 1000 Гц допускается, чтобы это отношение достигало 100 %. Это требование контролируют только в заданном диапазоне частот испытаний. В ряде случаев, например для образцов малых размеров, допускается устанавливать более жесткие ограничения на поперечные колебания (например, до 25 %), если это предусмотрено соответствующим нормативным документом.

Если на результаты испытаний большое влияние оказывают паразитные угловые колебания вибростола, допустимый уровень этих колебаний должен быть установлен в нормативном документе и отражен в протоколе испытаний.

Иногда, например для образцов больших размеров или большой массы, не удается соблюсти вышеуказанные ограничения на поперечные колебания на отдельных частотах или во всем диапазоне частот испытаний. В этом случае в нормативном документе должна быть использована одна из следующих формулировок:

- поперечные колебания, превышающие заданный уровень, должны быть зафиксированы и указаны в протоколе испытаний;
- поперечные колебания не представляют опасности для образца и контролю не подлежат.

4.3 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 $0{,}67f_1$ (f_1 — частота самого низкочастотного вейвлета), а верхняя граница не должна быть менее $1{,}5f_2$ (f_2 — частота самого высокочастотного вейвлета). В указанном диапазоне частот амплитудно-частотная характеристика измерительной цепи должна быть постоянной в пределах ± 5 %.

5 Требования к режимам испытаний

5.1 Управление испытаниями

Временной сигнал возбуждения должен представлять собой совокупность вейвлетов в пределах заданного временного окна. Этот сигнал должен быть определен соответствующим нормативным документом для заданного ударного спектра, как показано в 9.3.

Если нормативным документом не установлено иное, значение коэффициента демпфирования принимают равным 5 % (что соответствует значению добротности Q, равному 10). Значения коэффициента демпфирования (добротности) могут быть уточнены по результатам исследований частотной характеристики образца (см. 9.2). Результаты таких исследований помогают также определить, какое значение Q необходимо использовать, если в нормативном документе приведено несколько ударных спектров для разных значений добротности.

Расстояние между соседними частотами вейвлетов выбирают в зависимости от заданной добротности равным:

- 1/3 октавной полосы для добротности Q не более 5;
- 1/6 октавной полосы для добротности Q в интервале от 5 до 25;
- 1/12 октавной полосы для добротности Q не менее 25.

Примечание — Ряд среднегеометрических частот октавных полос установлен ГОСТ 17168.

5.2 Допуски на ударный спектр

Реальный ударный спектр, полученный по измерениям в контрольной точке, не должен отличаться от заданного более чем на 1,5 дБ (см. рисунок 3).

Допускается, чтобы в некоторой области или областях частот (в сумме не превышающих 20 % диапазона частот испытаний) кривая ударного спектра выходила за пределы указанного допуска (не превышая при этом кривую заданного ударного спектра более чем на 3 дБ), если только эта область или области не включают в себя критические частоты образца. Отклонение от заданного ударного спектра должно быть зафиксировано в протоколе испытаний.

Отклонения реального ударного спектра от заданного проверяют на частотах, расстояния между которыми те же, что установлены в 5.1 (в зависимости от значения добротности), или менее.

5.3 Требования к вычислению реального ударного спектра

Чтобы свести к минимуму погрешность оценки реального ударного спектра, необходимо особое внимание уделить выборке и фильтрации сигнала в контрольной точке.

Рекомендуется, чтобы частота выборки, по меньшей мере, в 10 раз превышала верхнюю границу f_2, если только при расчете ударного спектра не применяют процедуру интерполяции временного сигнала.

Примечание 1 — При выполнении вышеуказанного условия погрешность оценки отклика осциллятора с максимальной собственной частотой f_2 не будет превышать 5 %. Если же частота выборки будет всего в 2,56 раза превышать f_2 (что является обычным требованием для частотного анализа сигналов), эта погрешность может превышать 60 %.

Если перед расчетом ударного спектра используют процедуру интерполяции временного сигнала, то достаточно, чтобы частота выборки в четыре раза превышала верхнюю границу f_2.

Для предотвращения эффекта наложения спектров перед оцифровкой аналогового сигнала необходимо применять низкочастотную фильтрацию. Рекомендуется, чтобы в точке спада частотной характеристики фильтра нижних частот, где ее уровень понижается в два раза, частота была равна $1{,}5f_2$. Крутизна спада должна быть, по крайней мере, минус 60 дБ/октава. Выполнение этих требований обеспечивает регистрацию неискаженного отклика осциллятора с собственной частотой f_2. При этом будут подавлены также фазовые погрешности, связанные с применением фильтра нижних частот. Фазочастотная характеристика фильтра должна быть линейной.

Если на результаты испытаний могут оказывать влияние низкочастотные помехи или постоянное смещение сигнала, необходимо применять фильтр верхних частот. Рекомендуется, чтобы в точке спада частотной характеристики фильтра нижних частот, где ее уровень понижается в два раза, частота не превышала максимального из двух следующих значений: 2 Гц или одна десятая нижней границы f_1.

Дополнительная погрешность возможна в том случае, если сигналы возбуждения или сигналы отклика осцилляторов не успеют полностью затухнуть в пределах заданного временного окна. Особенно важно учитывать это для осцилляторов с низким значением коэффициента демпфирования. Для исключения появления погрешности данного вида необходимо, чтобы длительность выборки была достаточно большой.

Примечание 2 — При анализе влияния временного окна на погрешность воспроизведения ударного спектра часто вводят дополнительные термины: «полный ударный спектр», «начальный ударный спектр» и «остаточный ударный спектр». Термин «полный ударный спектр» (иногда его также называют максимаксным ударным спектром) соответствует определению 3.19. При определении начального ударного спектра учитывают максимальные отклики осцилляторов только на интервале входного воздействия (временного сигнала возбуждения), а при определении остаточного ударного спектра — на всем интервале временного окна, за исключением участка входного воздействия. Для оценки реального ударного спектра следует рассчитывать полный ударный спектр.

5.4 Алгоритм расчета ударного спектра

Существует много способов расчета ударного спектра, причем применяемые алгоритмы способны давать разные результаты, особенно в областях низких и высоких частот. Поэтому важно использовать такие алгоритмы, для которых получено подтверждение правильности проводимых с их помощью расчетов, по крайней мере, в диапазоне частот испытаний.

5.5 Диапазон частот испытаний

Выбор диапазона частот испытаний зависит от того, какое ударное возбуждение предполагается воспроизвести во время испытаний, и от возможности испытательной установки с установленным на ней образцом воспроизвести это возбуждение.

5.6 Установка образца

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

Положение образца на вибростоле во время испытаний и способ его крепления должны быть указаны в соответствующем нормативном документе. При этом результаты испытаний следует рассматривать как применимые только к конкретному положению образца и конкретному способу крепления, если только не представлены аргументы в пользу того, что результаты могут быть распространены и на другие положения образца и способы крепления (например, показано, что сила тяжести не оказывает существенного влияния на результаты испытаний).

Если изделие в обычных условиях эксплуатации устанавливают на изоляторы, а испытания должны быть проведены без изоляторов, то уровень возбуждения должен быть скорректирован с учетом передаточной функции изоляторов.

При установке образца следует принимать во внимание его соединения, кабели, трубопроводы и т.п.

6 Степень жесткости условий испытаний

Степень жесткости условий испытаний определяется сочетанием следующих параметров:

a) обязательные параметры:

- заданный ударный спектр и принятое значение добротности,
- направления возбуждения,
- длительность воспроизводимого временного сигнала,
- число повторений ударных возбуждений,
- диапазон частот испытаний;

b) дополнительные параметры:

- высокочастотная асимптота заданного ударного спектра,
- длительность значимой части синтезированного временного сигнала,
- число больших пиков отклика,
- Фурье-спектр сигнала возбуждения,
- спектральная плотность энергии сигнала возбуждения,
- среднеквадратичное значение сигнала возбуждения, рассчитанное во временной области [см. раздел В.2 (приложение В)],
- среднеквадратичное значение сигнала возбуждения, рассчитанное в частотной области [см. раздел В.4 (приложение В)].

Примечание — Приведенный перечень дополнительных параметров не следует считать исчерпывающим (см. приложение В).

Указанные параметры должны быть определены соответствующим нормативным документом на основе рекомендаций 6.1 — 6.5.

Дополнительные параметры могут быть необходимы, если образец подвергают повторяющимся ударным воздействиям с целью оценить последствия малоцикловой усталости.

6.1 Заданный ударный спектр

В нормативном документе должны быть указаны ударные спектры (формы, уровни, высокочастотные асимптоты) для всех условий испытаний, включая значения добротности и допуски. Ударный спектр должен быть определен как полный спектр. В нормативном документе могут быть также установлены оси образца, направления возбуждения и ударные спектры для каждого направления возбуждения, если они для разных направлений различны.

Примечание — В нормативном документе могут быть установлены разные ударные спектры с разными значениями добротности для конкретных условий испытаний.

6.2 Длительность временного сигнала возбуждения

В соответствующем нормативном документе должна быть установлена длительность каждого временного сигнала возбуждения (в секундах), которую рекомендуется выбирать из ряда: ... 1; 2; 3; 5; 10....

Примечание — Длительность возбуждения зависит от используемых значений частоты выборки и временных окон, поэтому не всегда возможно получить значения длительности, близкие к значениям вышеприведенного ряда.

Иногда в соответствующем нормативном документе может быть указана длительность значимой части временного сигнала в виде доли (в процентах) общей длительности. В отсутствие таких указаний, а также если это не определяется непосредственно требованиями 6.5, значение доли значимой части спектра следует выбирать из ряда: 25 %, 50 %, 75 %.

Выбранное значение должно быть отражено в протоколе испытаний.

6.3 Число повторений

В соответствующем нормативном документе должно быть установлено число повторных возбуждений образца заданным временным сигналом, прилагаемым в заданном направлении по заданной оси образца.

Если нормативным документом не установлено иное, то число повторных возбуждений в каждом направлении следует выбирать из ряда: 1; 2; 5; 10; 20; 50...

Если число повторных возбуждений более одного, испытания всегда начинают с возбуждения минимального уровня, после чего переходят к более высоким уровням. Повторные возбуждения должны быть разделены паузой.

6.4 Диапазон частот испытаний

Диапазон частот испытаний должен быть установлен соответствующим нормативным документом в виде нижней и верхней границ (в герцах), значения которых выбирают, по возможности, близкими к значениям ряда: ... 1; 2; 5; 10; 20; 50.... Значение нижней границы f_1 не должно быть менее 0,1 Гц, а значение верхней границы f_2 не должно превышать 5000 Гц.

Примечание — Диапазон частот испытаний зависит от используемых значений частоты выборки и временных окон, поэтому не всегда возможно получить значения границ диапазона частот испытаний, близкие к значениям вышеприведенного ряда.

6.5 Число больших пиков отклика

Соответствующим нормативным документом может быть установлено число пиков расчетного отклика системы с одной степенью свободы, превышающих некоторое пороговое значение.

Число больших пиков отклика является дополнительной характеристикой степени жесткости испытаний, применяемой, преимущественно, в случаях, когда требуется провести исследования на малоцикловую усталость.

Расчет числа больших пиков должен быть выполнен для полного отклика некоторой выбранной системы с одной степенью свободы, возбуждаемой заданным временным сигналом. Собственная частота системы без учета демпфирования и ее добротность должны быть определены по результатам исследования частотной характеристики образца или в ходе непосредственной оценки этих параметров.

Пороговые значения, с которыми сравнивают пики отклика, должны быть определены как доля (в процентах) заданного ударного спектра на собственных частотах испытуемого образца.

Если соответствующим нормативным документом не предписано иное, то при коэффициенте демпфирования от 2 % до 10 % (значении добротности от 5 до 25) и пороговом значении 70 % число больших пиков отклика должно быть от 3 до 20. Чередующиеся положительные и отрицательные пики должны быть расположены приблизительно равномерно.

7 Начальная стабилизация

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

8 Начальные измерения

Если нормативным документом не определено иное (см. 9.2), то образец должен быть подвергнут визуальному осмотру, контролю размеров и проверке эксплуатационных свойств, как предписано соответствующим нормативным документом.

9 Проведение испытаний

9.1 Общие положения

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.

Возбуждение должно быть приложено таким образом, чтобы воспроизводить заданный ударный спектр. Обычно поставщики систем управления вибрационными испытаниями включают в их состав необходимое программное обеспечение для формирования требуемого задающего сигнала.

9.2 Исследование частотной характеристики образца

Если нормативным документом не установлено иное, проводят исследование частотной характеристики образца. Число точек измерения отклика должно быть указано в нормативном документе.

Исследование частотной характеристики может быть выполнено возбуждением гармонической или случайной вибрации в диапазоне до увеличенной в пять раз собственной частоты колебаний образца (без учета демпфирования) или, если это значение выходит за пределы диапазона частот испытаний, во всем диапазоне частот испытаний. Уровень возбуждения должен быть определен нормативным документом.

Исследование проводят по ГОСТ 30630.1.2 при возбуждении гармонической вибрацией и по ГОСТ 30630.1.9 при возбуждении случайной вибрацией.

Уровень вибрации при исследовании частотной характеристики должен быть выбран таким, чтобы отклик образца был более слабым, чем при воздействии возбуждения 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 долгого возбуждения вибрацией на одной частоте.

При исследовании с возбуждением случайной вибрации 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 его частотной характеристики, то проводят дополнительные исследования при неработающем образце. В результате исследований должны быть определены и отражены в протоколе испытаний все критические частоты данного образца.

Если нормативным документом не установлено иное, исследование частотной характеристики образца проводят также после завершения испытаний с воспроизведением заданного ударного спектра для выявления возможных изменений критических частот. Заключительное исследование частотной характеристики проводят точно так же, в тех же точках и с теми же параметрами возбуждения, что и начальное.

Критические частоты, выявленные в ходе исследований до и после проведения основных испытаний, указывают в протоколе испытаний.

Действия, которые необходимо предпринять при выявлении расхождения результатов начального и заключительного исследований частотной характеристики, должны быть определены соответствующим нормативным документом.

9.3 Синтез временного сигнала возбуждения

Ниже приведены основные этапы синтезирования временного сигнала (см. также приложение С).

a) Выбор формы вейвлетов

Существует несколько типов вейвлетов, используемых для формирования временного сигнала. Наиболее часто применяют следующие:

- экспоненциально затухающую синусоиду;
- отрезок синусоидального сигнала постоянной амплитуды;
- несколько синусоидальных импульсов, модулированных окном Ханна.

b) Выбор диапазона частот испытаний

Диапазон частот испытаний выбирают с учетом возможных частот выборки (см. 5.3, 5.5 и 6.4).

c) Выбор временного окна

Длительность временного окна выбирают с учетом выбранного на этапе b) диапазона частот.

d) Выбор разрешения вейвлетов по частоте

Расстояние между частотами вейвлетов выбирают с учетом 5.1.

e) Выбор значения добротности

Значение добротности Q выбирают на основе указаний соответствующего нормативного документа или по результатам исследований частотной характеристики образца (см. 5.1 и 9.2).

f) Выбор длительности вейвлетов

Длительность вейвлетов выбирают в соответствии с 6.2.

g) Выбор пиковых значений вейвлетов

Пиковые значения вейвлетов выбирают в соответствии с заданным спектром удара.

h) Выбор других параметров вейвлетов:

- задержки (начальный момент времени вейвлета);
- полярности (направление изменения сигнала в начальный момент времени);
- числа полупериодов (для вейвлетов 2-го и 3-го типов).

i) Синтез задающего временного сигнала системой управления

Формируют исходный временной сигнал без возбуждения им вибростола.

j) Сравнение ударных спектров

Сравнивают ударный спектр, полученный по задающему временному сигналу, с заданным ударным спектром, принимая во внимание допуски и параметры, установленные соответствующим нормативным документом (см. 5.2 и раздел 6).

k) Корректировка параметров

При необходимости изменяют длительности вейвлетов [этап f)], после чего корректируют (подгоняют) параметры этапов g) и h), обеспечивая соблюдение допусков и параметров заданного ударного спектра с учетом ограничений испытательной установки на развиваемую силу, перемещение, скорость и ускорение вибростола.

l) Запись синтезированного временного сигнала

Сохраняют синтезированный временной сигнал, после чего начинают испытания согласно 9.4. В процессе испытаний корректировка параметров временного сигнала продолжается.

m) Возбуждение по другим направлениям

Если для испытаний по другим направлениям возбуждения установлены другие требования к жесткости условий испытаний, то для каждого из этих направлений повторяют все вышеперечисленные этапы.

Примечание — Этап m) может быть также проведен после проведения основных испытаний в одном из направлений возбуждения [см. 9.4, этап e)].

9.4 Испытания с воспроизведением синтезированного временного сигнала

Ниже приведены основные этапы испытаний с воспроизведением синтезированного временного сигнала (см. также рисунок 5 и приложение С).

a) Установка испытуемого образца или его имитатора

Образец или его имитатор с аналогичными динамическими свойствами устанавливают на вибростол таким образом, чтобы обеспечить возбуждение в заданном направлении вдоль соответствующей оси образца (имитатора).

b) Воздействие на образец с пониженным (минус 18 дБ) уровнем возбуждения

Образец возбуждают с использованием синтезированного по 9.3, перечисление l) временного сигнала, уровень которого понижен на 18 дБ относительно заданного. Возбуждение повторяют до шести раз, чтобы позволить системе управления скорректировать задающий сигнал для достижения соответствующих формы и параметров заданного ударного спектра с пониженным уровнем возбуждения. Записывают сформированный задающий сигнал.

Примечание 1 — В некоторых случаях данный этап целесообразно пропустить и сразу начать с выполнения этапа c).

c) Воздействие на образец с пониженным (минус 12 дБ) уровнем возбуждения

Образец возбуждают на пониженном (минус 12 дБ) уровне с использованием задающего сигнала, сохраненного после выполнения процедур a) и b). Возбуждение повторяют до шести раз, чтобы позволить системе управления скорректировать задающий сигнал для достижения соответствующих формы и параметров заданного ударного спектра. Записывают сформированный задающий сигнал.

Примечание 2 — Иногда испытания начинают непосредственно с этого этапа.

d) Повышение уровня возбуждения

Повышают уровень возбуждения последовательно сначала на 6 дБ, а затем еще на 3 дБ. Для каждого уровня возбуждения повторяют не менее двух раз с записью задающего сигнала, прежде чем перейти к возбуждению полного уровня. После каждого повторного возбуждения проверяют, позволяет ли система управления сформировать возбуждение в пределах допуска на заданный ударный спектр.

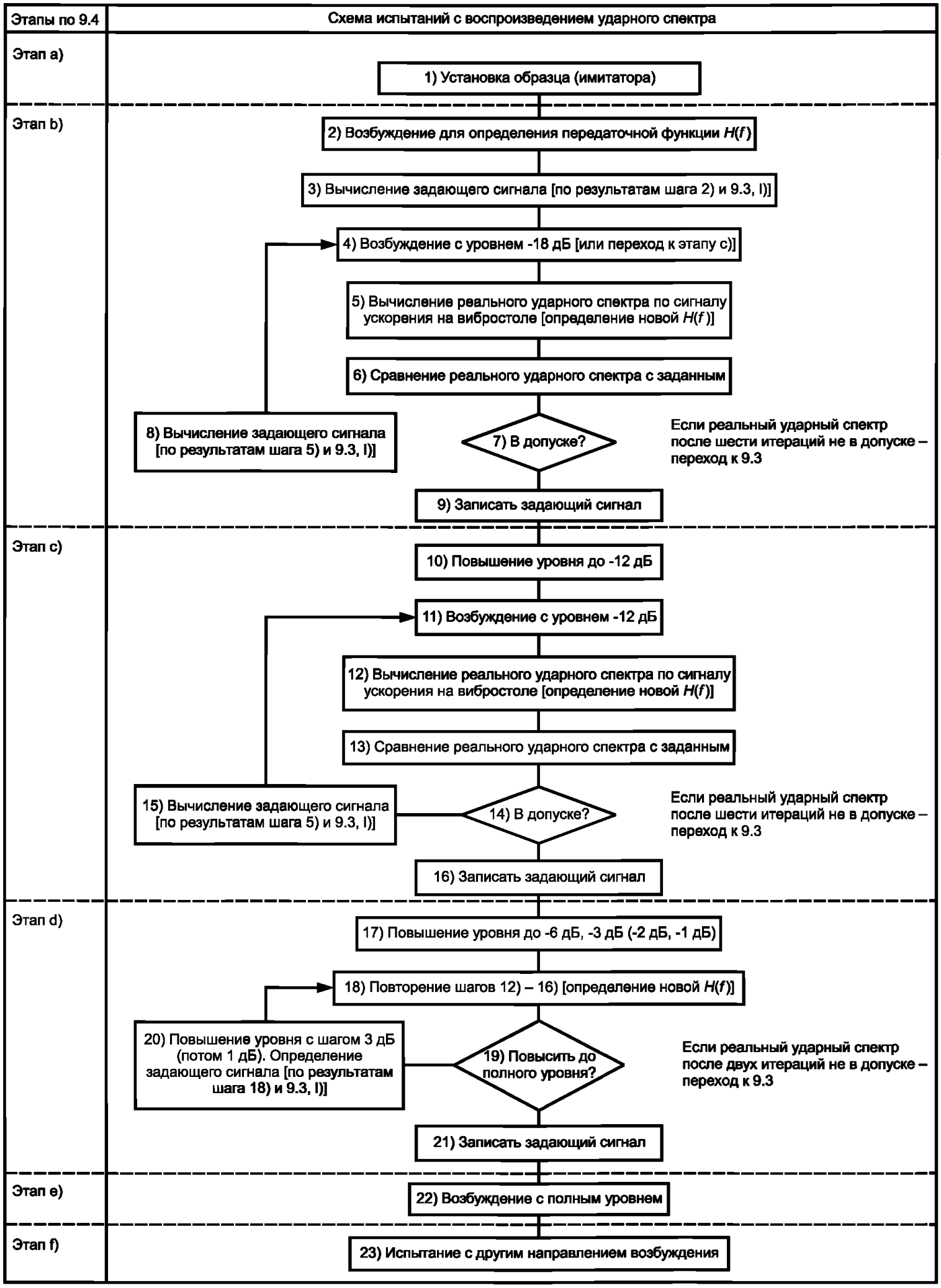


Рисунок 5 — Испытания с воспроизведением синтезированного временного сигнала

Примечание 3 — Повышение от уровня минус 3 дБ до полного уровня, при необходимости, можно осуществлять с шагом 1 дБ. На каждом дополнительном шаге используют не более одного возбуждения.

e) Испытания с полным уровнем возбуждения (выдержка)

Возбуждение полного уровня повторяют столько раз, сколько предписано соответствующим нормативным документом для данного направления возбуждения. Система управления должна поддерживать воспроизведение заданного ударного спектра.

Между двумя воспроизведениями заданного временного сигнала возбуждения необходимо выдерживать паузу, достаточную для того, чтобы избежать наложений откликов образца.

f) Возбуждение вдоль других направлений

Этапы a) — e) повторяют для других направлений возбуждения в соответствии с требованиями нормативного документа и учетом 9.3, перечисление m).

Примечание 4 — Начать ли испытания с возбуждением в новом направлении с этапа b) или c), оставляют на усмотрение специалиста, проводящего испытания.

g) Документирование результатов испытаний

Следует зафиксировать ударный спектр, воспроизведенный во время испытаний с полным уровнем возбуждения, а также другие параметры, характеризующие проведенные испытания. Сохраняют запись каждого возбуждения, если их число не превышает 10, и запись каждого третьего возбуждения, если их число более 10. Дополнительные требования могут быть установлены соответствующим нормативным документом.

10 Промежуточные измерения

Если это предписано нормативным документом, образец должен функционировать в процессе испытаний с одновременным контролем его рабочих характеристик.

11 Конечная стабилизация

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

12 Заключительные измерения

Если нормативным документом не предусмотрено иное, проводят заключительное исследование частотной характеристики образца (см. 9.2).

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

Тем же документом должны быть установлены критерии приемки или отбраковки образца.

13 Сведения, приводимые в соответствующем нормативном документе

Если соответствующим нормативным документом установлен данный метод испытаний, то в нем приводят, по мере необходимости, следующие данные (особое внимание следует уделять пунктам, отмеченным звездочкой, — данные по этим пунктам должны быть приведены обязательно):

	Раздел или подраздел настоящего стандарта
a) Поперечные колебания	4.2
b) Допуск на сигнал	4.3
c) Допуск на заданный ударный спектр*	5.2
d) Диапазон частот испытаний*	5.5 и 6.4
e) Установка образца*	5.6
f) Заданный ударный спектр*	5.1 и 6.1
g) Оси образца и направления возбуждения*	6.1 и 9.1

h) Длительность возбуждения в процессе испытаний*	6.2
i) Длительность значимой части временного сигнала	6.2
j) Число повторений заданного возбуждения*	6.3
k) Число больших пиков отклика	6.5
l) Предварительная выдержка	7
m) Начальные измерения*	8
n) Исследование частотной характеристики образца	9.2
o) Промежуточные измерения	10
p) Восстановление	11
q) Заключительные измерения*	12

14 Сведения, приводимые в протоколе испытаний

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

1) Заказчик	(наименование организации, адрес)
2) Испытательная лаборатория	
3) Идентификационные данные отчета	(дата составления, номер)
4) Тип испытаний	(с заданным ударным спектром, на вибрацию)
5) Цель испытаний	(доводочные испытания, приемка и т.д.)
6) Стандарт на испытания	(соответствующий метод испытаний)
7) Описание образца	(модель, номер, чертеж, фото, параметры и т.д.)
8) Установка образца	(вид крепления, чертеж, фото и т.д.)
9) Характеристики вибрационной установки	(поперечная вибрация и др.)
10) Измерительная система, расположение датчиков	(описание, чертеж, фото и т.д.)
11) Инструментальная погрешность	(результаты поверок, даты поверок)
12) Начальные, промежуточные, заключительные измерения	
13) Требуемая степень жесткости условий испытаний	(по нормативному документу)
14) Реальная степень жесткости условий испытаний	(измерительные точки, спектры)
15) Наблюдения и действия во время испытаний	
16) Резюме	
17) 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 представлением таблиц измерений, то в этих случаях, как правило, ведут журнал испытаний. Журнал испытаний может быть приложен к протоколу испытаний.

Приложение А
(справочное)

Информация, учитываемая при формировании временного сигнала возбуждения

А.1 Общие положения

Заданный ударный спектр не определяет однозначно форму временного сигнала возбуждения. Одному ударному спектру могут соответствовать разные временные сигналы. Кроме того, ограничения, налагаемые испытательным оборудованием, приводят к тому, что на практике точно воспроизвести заданный ударный спектр не удается. Как результат, трудно добиться надежного воспроизведения временного сигнала импульсной формы только на основе задания ударного спектра. Поэтому способ синтеза временного сигнала возбуждения рекомендуется всегда согласовывать с разработчиком методики испытаний.

Существует много методов построения временного сигнала возбуждения по заданному ударному спектру. Эти методы позволяют синтезировать временные сигналы с разными характеристиками и по-разному учитывают ограничения, налагаемые испытательным оборудованием. Кроме того, различные программные реализации данных методов могут наложить дополнительные ограничения и допущения. Часто эти допущения и ограничения используют для достижения определенной стабильности и повторяемости воспроизведения временного сигнала возбуждения.

При выборе метода формирования временного сигнала по заданному ударному спектру в первую очередь следует рассматривать характеристики временного сигнала. Этот выбор обычно зависит от характеристик исходного временного сигнала, по которому был рассчитан ударный спектр, приведенный в нормативном документе. Однако поскольку, как правило, нет возможности воспроизвести все особенности исходного сигнала, следует идентифицировать те характерные особенности, которые должны присутствовать в синтезированном сигнале возбуждения. Обычно вид исходного сигнала зависит от рабочих условий, связанных с ударными воздействиями, и положения изделия относительно источника ударов. Во многом те особенности, которые следует учитывать при синтезировании временного сигнала возбуждения, зависят от чувствительности образца к ударным воздействиям.

Другим фактором, который следует принимать во внимание при выборе метода формирования временного сигнала, являются ограничения, связанные с испытательным оборудованием. Если ударное воздействие воспроизводят с помощью вибрационных установок электродинамического или гидравлического типа, начальные и конечные значения скорости и ускорения вибростола должны быть равны нулю. Кроме того, для любого вибростенда существуют максимально допустимые значения ускорения, скорости и перемещения. Это значительно ограничивает форму задающего временного сигнала системы управления. Данные ограничения особенно существенны при попытке воспроизвести ударное воздействие в самом источнике или поблизости от него. Меньше аппаратурных сложностей возникает при необходимости воспроизвести воздействие, наблюдаемое на некотором расстоянии от источника после прохождения волны возбуждения через какую-либо среду (конструкцию).

А.2 Воспроизведение сигнала классической формы

Воспроизведение на вибростенде импульса классической формы в виде, например, полусинусоиды или пилы с пиком в конце зачастую представляет трудности из-за ограничений, налагаемых испытательным оборудованием. В то же время испытания для ударного спектра, определенного классическим импульсом, обладают такими достоинствами, как стабильность и воспроизводимость. Это объясняется тем, что ударный спектр для сигналов классической формы имеет характерный вид, и, если данный ударный спектр хорошо согласуется с исходным временным сигналом, значит, этот временной сигнал должен быть достаточно близок к импульсу классической формы. Воспроизводимость можно еще повысить, если иметь дополнительную информацию о сигнале, например о его пиковом значении или типичной длительности. Основная трудность в воспроизведении удара классической формы на вибростенде состоит в том, чтобы добиться равенства нулю ускорения и скорости в начале и в конце импульса. Обычно для этого используют дополнительный компенсирующий импульс, полярность которого противоположна основному импульсу, длительность больше, а уровень меньше, чем у основного импульса. Компенсирующие импульсы обычно следуют непосредственно до и сразу после основного импульса, а их форму, пиковое значение и длительность выбирают таким образом, чтобы обеспечить значения временного сигнала ускорения и скорости в начале и конце равными нулю.

А.3 Сигнал в виде затухающей синусоиды

Оборудование довольно редко подвержено воздействию импульсов классической формы в процессе эксплуатации. Гораздо чаще оборудование подвергается воздействию, форма которого отражает динамические характеристики пути распространения импульса от источника к данному оборудованию. В первом приближении такое воздействие можно представить в виде затухающей синусоиды. Более общо такое воздействие отражает смесь индивидуальных откликов. Обычно чем сложнее временной сигнал возбуждения, тем больше оснований использовать для его воспроизведения тот или иной вибростенд.

Воздействие в форме затухающей синусоиды типично для оборудования, расположенного в относительной близости от источника возбуждения. Ударный спектр для затухающей синусоиды имеет характерный вид, и все сигналы, соответствующие данному ударному спектру, будут близки к исходному. Однако если исходный сигнал содержит несколько затухающих синусоид на разных частотах, то в отсутствие дополнительной информации синтезированный временной сигнал может существенно отличаться от исходного. Такая дополнительная информация может включать в себя сведения о пиковом значении сигнала, частоте и коэффициенте демпфирования для каждой синусоидальной составляющей, а также соотношении амплитуд этих составляющих. Обычно к формированию сигнала возбуждения в виде совокупности затухающих синусоид прибегают в случаях, когда важной характеристикой является время нарастания сигнала отклика.

Методы синтезирования временного сигнала в виде затухающих синусоид по заданному ударному спектру достаточно полно описаны в литературе и схожи между собой. Однако при общей схожести методов существует разница в их применении, обусловленная стремлением обеспечить хорошую повторяемость синтезированного сигнала. Налагаемые при этом ограничения часто не позволяют добиться хорошего подобия исходному сигналу. Теоретически подгонка ударного спектра к заданному может быть осуществлена точно только на частотах, присутствующих во временном сигнале. Существует несколько способов улучшить соответствие ударных спектров на промежуточных частотах, однако ни один из них не обеспечивает надежные результаты. Поэтому обычно ограничиваются подгонкой спектров на частотах синусоидальных составляющих, а на промежуточных частотах увеличивают пределы допуска. Условия практической реализации метода часто приводят к ограничениям числа затухающих синусоид в сигнале.

Применение сигнала возбуждения в виде затухающих синусоид почти всегда требует дополнительного компенсирующего импульса для приведения к нулевому значению скорости и ускорения в начале и в конце сигнала. Уровень такого импульса ниже, чем в случае ударов классической формы, но, тем не менее, он оказывает влияние на форму ударного спектра. Обычно возможности испытательной установки допускают некоторую свободу в варьировании частоты компенсирующего импульса. Для компенсирующего импульса предпочтительно выбирать наименьшую из возможных частот.

А.4 Колебания сложной формы

Динамические характеристики типичных конструкций на пути распространения ударного импульса приводят к тому, что временной сигнал приобретает форму поступательных колебательных движений. Если характеристики удара в его источнике несущественны, временной сигнал возбуждения может быть построен по заданному ударному спектру многими способами. Но какой бы способ ни был использован, трудно ожидать, что синтезированный временной сигнал будет подобен исходному, если отсутствует дополнительная информация об этом сигнале. Такая дополнительная информация обычно включает в себя пиковые значения, частоты отдельных составляющих и амплитудные соотношения между ними. Обычно к формированию сигнала возбуждения в виде сложных колебательных процессов прибегают в случае, когда отклик испытуемого оборудования максимален непосредственно после действия ударного импульса.

Методы определения колебательного сигнала сложной формы по заданному ударному спектру многообразны. Выбор метода и способа его реализации зависит от возможностей испытательной установки, а также от воспроизводимости сигнала возбуждения. На практике указанные ограничения приводят к тому, что сигнал возбуждения становится мало похож на исходный. Теоретически подгонка ударного спектра к заданному может быть осуществлена точно только на частотах, присутствующих во временном сигнале. Обычно ограничиваются подгонкой спектров на отдельных частотах, а на промежуточных частотах увеличивают пределы допуска.

Некоторые методы определения по заданному ударному спектру сигнала возбуждения сложной колебательной формы требуют применения дополнительного компенсирующего импульса для приведения к нулевому значению скорости и ускорения в начале и в конце сигнала. Однако существуют и такие методы, которые позволяют синтезировать сигнал с нулевыми значениями скорости и ускорения в начале и в конце сигнала без применения компенсирующего импульса. Если все же требуется применение компенсирующего импульса, то его влияние обычно менее существенно, чем для импульсов классической формы или совокупности затухающих синусоид.

Приложение В
(справочное)

Параметры, используемые при формировании временного сигнала возбуждения

В.1 Общие положения

Источниками сведений об ударных воздействиях, которым может быть подвержено изделие в процессе его эксплуатации, могут быть:

- результаты измерений в реальных условиях эксплуатации изделия;
- данные, полученные для схожих объектов в схожих условиях применения;
- расчеты ударных процессов в конкретных условиях применения изделия.

При проведении измерений в реальных условиях эксплуатации изделия следует учитывать то обстоятельство, что для ударных воздействий характерен большой динамический диапазон сигналов.

На основе сведений о реальных ударных воздействиях устанавливают требования к испытаниям с воспроизведением ударного спектра. Эти требования могут распространяться на ряд параметров, специфических для ударных воздействий. В их число входят:

- длительность ударного импульса;
- пиковое значение ударного импульса;
- частотный состав ударного импульса;
- ударный спектр.

Параметры, требования к которым должны быть установлены в методике испытаний, зависят от целей испытаний. Одни параметры представляют интерес с точки зрения предельных уровней воздействия, другие — с точки зрения малоцикловой усталости.

В.2 Параметры, связанные с длительностью ударного возбуждения

При описании длительности T ударного воздействия могут быть использованы следующие параметры:

- значимая часть временного сигнала;
- эффективная длительность ударного (переходного) процесса[1)].

Значимая часть временного сигнала определена как участок между двумя моментами времени, когда сигнал в первый раз достигает уровня 25 % пикового значения и когда он в последний раз опускается ниже этого уровня.

Необходимо особое внимание уделить заданию частотного состава временного сигнала, поскольку это оказывает существенное влияние на форму временного сигнала, его пиковое значение и значимую часть. В зависимости от частотного состава сигнала должны быть определены частота выборки, а также спады частотной характеристики фильтра как в области нижней, так и в области верхней границы частотного диапазона.

Эффективная длительность ударного (переходного) процесса менее чувствительна к шумовым выбросам, но требования к частотному составу и другим параметрам должны быть определены так же, как указано выше, и, кроме того, необходимо вычисление среднеквадратичных значений сигналов.

В.3 Параметры, связанные с пиковым значением ударного возбуждения

Для описания амплитудных характеристик ударного процесса могут быть использованы следующие параметры:

- максимальное и минимальное значения временного сигнала;
- плотность вероятности распределения временного сигнала;
- ранжирование пиков (положительных и отрицательных) временного сигнала;
- число циклов нагружения, подсчитанных методом «дождевого потока».

Диапазон частот временного сигнала и другие параметры должны быть определены, как указано выше, поскольку они оказывают существенное влияние на характер временного сигнала, его максимальное и минимальное значения.

Все амплитудные характеристики связаны с максимальным (минимальным) значением временного сигнала, совпадающим с высокочастотной асимптотой ударного спектра.

Для анализа положительной и отрицательной частей временного сигнала предпочтительно использовать вторую и третью характеристики. Последние две характеристики наиболее целесообразно применять при оценке усталостных эффектов образца, а также при анализе временного сигнала отклика образца («большие пики отклика»), как показано ниже.

Вместо подсчета числа пиков можно использовать альтернативный метод подсчета числа пересечений временным сигналом некоторого заданного уровня.

[1)] Данный параметр в стандарте Министерства обороны США MIL-STD-810F (2000) «Технический анализ условий окружающей среды и методы лабораторных испытаний» определен как минимальный период времени, содержащий не менее 90 % среднеквадратичного значения временного сигнала, превышающего уровень 10 % среднеквадратичного значения всего ударного импульса.

В.4 Параметры, связанные с частотным составом ударного возбуждения

Для описания частотного состава ударного процесса могут быть использованы следующие параметры:

- диапазон частот;
- спектр Фурье;
- спектральная плотность энергии;
- среднеквадратичное значение сигнала, рассчитанное по спектру Фурье или по спектральной плотности энергии.

Диапазон частот временного сигнала должен быть определен для обеспечения хорошей воспроизводимости испытаний. По этой же причине важно определить и согласовать с диапазоном частот испытаний частоту выборки и частотную характеристику фильтра.

Фурье-спектр и спектральная плотность энергии описывают частотный состав временного сигнала и позволяют выделить значительные частотные составляющие сигнала. При расчете спектральной плотности мощности осуществляется нормирование как на разрешение по частоте, так и на длительность временного сигнала. Статистическая погрешность анализа может быть уменьшена усреднением по соседним частотным составляющим спектра.

Среднеквадратичное значение, рассчитанное по Фурье-спектру или спектральной плотности энергии, является интегральной характеристикой частотного состава сигнала и может быть легко интерпретировано.

В.5 Параметры, необходимые для задания ударного спектра

Для описания ударного спектра могут быть заданы следующие параметры:

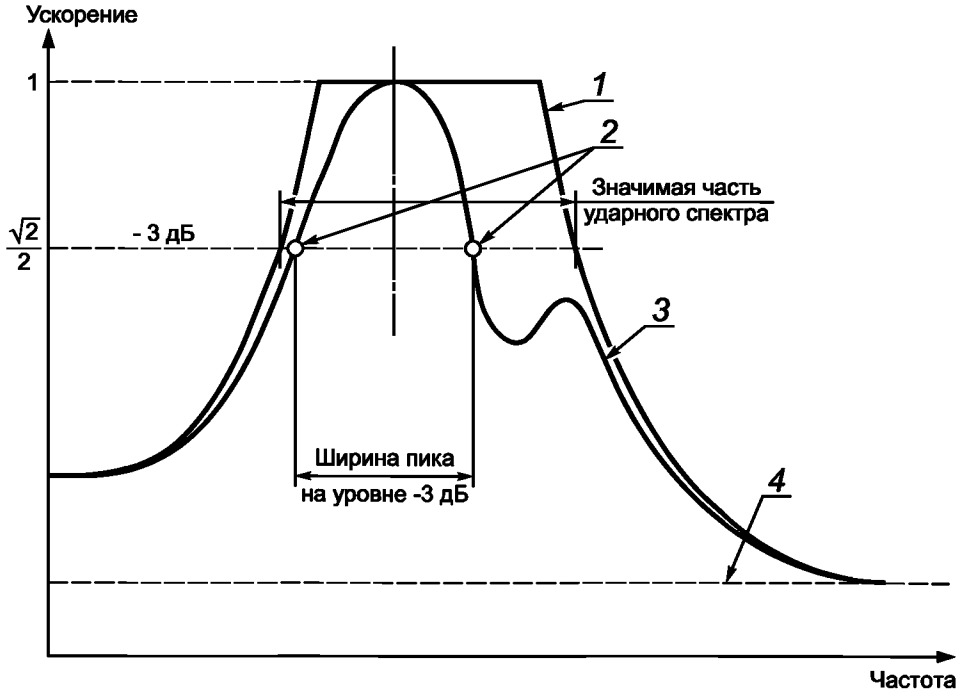
- добротность Q;
- значимая часть ударного спектра;
- форма пика ударного спектра.

Чаще всего ударный спектр задают в виде полного ударного спектра ускорения. Как вариант применяют полные ударные спектры псевдоскорости или относительного перемещения.

Должен быть определен алгоритм расчета ударного спектра.

Рекомендуется рассчитывать ударный спектр по результатам измерений или модельным данным для разных значений добротности Q, например 5, 10 и 25 (что соответствует коэффициентам демпфирования 10 %, 5 % и 2 %). Полученная кривая отражает возможный отклик образца в зависимости от его собственных резонансных частот и коэффициентов демпфирования.

Значимая часть ударного спектра определена в ГОСТ 30630.1.8 как часть спектра, для которой ускорение отклика превышает уровень минус 3 дБ пикового значения ударного спектра (см. рисунок В.1).



1 — заданный ударный спектр; *2* — частоты, соответствующие уровню минус 3 дБ; *3* — ударный спектр для исходного сигнала; *4* — ВЧА

Рисунок В.1 — Значимая часть ударного спектра

Форма пика ударного спектра может быть описана сравнением спектров отклика для различных значений Q на заданное ударное воздействие. Такое сравнение позволяет оценить, является ли ударное воздействие процессом преимущественно импульсного или колебательного типа. Можно определить следующие параметры:

$$A = (peak\ SRS)_{Q=20}/(peak\ SRS)_{Q=10};$$

$$B = peak\ SRS/HFA,$$

где *peak SRS* — максимальное значение ударного спектра;

HFA — высокочастотная асимптота.

Малые значения параметров A и B свидетельствуют об импульсном характере процесса (например, полусинусоидальный импульс), а большие — о том, что ударный процесс имеет колебательный характер. Промежуточные значения параметров характерны для синусоиды постоянной амплитуды.

В.6 Другие параметры, характеризующие ударное возбуждение

Для описания ударного процесса могут быть использованы также другие параметры:

- число больших пиков отклика для осциллятора с заданной собственной частотой;
- моменты вероятностного распределения сигнала, такие как коэффициенты асимметрии и эксцесса.

Число больших пиков отклика может быть рассчитано для заданного значения Q и для заданной собственной частоты осциллятора в диапазоне частот испытаний.

Значение Q должно соответствовать свойствам испытуемого образца. По умолчанию это значение выбирают равным 10.

Большие пики отклика определены как расчетные значения отклика осциллятора на входное возбуждение, превышающие некоторое заданное пороговое значение. Если нормативным документом не определено иное, число больших пиков для порога в 70 % пикового значения и коэффициента демпфирования от 2 % до 10 % должно варьироваться в диапазоне от 3 до 20.

Пики отклика могут быть подвергнуты дальнейшему анализу в целях их ранжирования, определения числа пересечений уровня и расчета спектра усталостных повреждений (зависимости числа повреждений от собственной частоты осциллятора для заданных значений коэффициента демпфирования и времени воздействия).

Моменты вероятностного распределения (коэффициенты асимметрии и эксцесса) характеризуют форму ударного воздействия. Их можно представить в виде мгновенного выборочного значения. Коэффициент асимметрии показывает соотношение между положительными и отрицательными значениями временного сигнала, а коэффициент эксцесса характеризует наличие пиков в сигнале.

Приложение С
(справочное)

Синтез временного сигнала возбуждения

С.1 Введение

Почти все поставщики систем управления для электродинамических вибрационных установок включают в их состав программное обеспечение для испытаний с воспроизведением заданного ударного спектра. Оно позволяет генерировать задающий сигнал напряжения, поступающий на усилитель мощности вибростенда.

Ударный спектр, воспроизводимый на вибростоле, посредством нескольких итераций подгоняют под заданный. Сигнал управления формируется сложением в заданном временном окне нескольких вейвлетов, различающимися по форме, частоте и длительности. При этом необходимо иметь в виду все ограничения на воспроизводимое движение, налагаемые испытательной установкой.

С.2 Ограничения, налагаемые испытательной установкой

Как правило, в нормативном документе ударный спектр определяют вплоть до области очень высоких частот, поскольку для ударного спектра нет ограничений на диапазон частот и его верхняя граница простирается до бесконечности. В области высоких частот кривая ударного спектра стремится к пиковому значению временного сигнала возбуждения.

Наиболее существенные ограничения, налагаемые испытательной установкой в отношении воспроизведения ударного спектра, определенного нормативным документом, связаны с диапазоном частот воспроизводимой вибрации, выходной мощностью усилителя и механической прочностью вибростенда, которую выражают в виде максимально допустимого ускорения. Предельные значения указанных характеристик для каждого вибростенда и усилителя мощности свои. Для типичного вибростенда, развивающего номинальную силу 80 кН и управляемого сигналом с усилителя с выходной мощностью 96 кВ · А, верхняя граница диапазона частот находится в пределах от 2500 до 3000 Гц, а максимальное ускорение на вибростоле — от 350 до 400 g_n. Более высокие значения указанных параметров обеспечивают вибростенды специальной конструкции.

С.3 Характеристики программных средств системы управления

Большинство программных средств систем управления при испытаниях с воспроизведением ударного спектра позволяют при формировании временного сигнала возбуждения варьировать следующие параметры:

a) Тип вейвлета (наиболее употребительные):

- экспоненциально затухающая синусоида;
- отрезок синусоидального сигнала постоянной амплитуды;
- несколько синусоидальных импульсов, модулированных окном Ханна.

Лицо, проводящее испытание, должно решить, какой тип вейвлета выбрать. Вейвлеты любого из вышеперечисленных типов в той или иной степени способны обеспечить выполнение требований к воспроизведению заданного ударного спектра, поэтому использование вейвлетов иной формы не рекомендуется. Не следует также формировать временной сигнал, используя вейвлеты разных типов.

b) Временное окно

Временное окно представляет собой интервал времени, на котором происходит сложение вейвлетов и которым ограничивается длительность синтезированного временного сигнала возбуждения.

c) Расстояние между частотами вейвлетов

Частоты вейвлетов отстоят друг от друга, начиная с низшей частоты ударного спектра, на расстоянии в 1/n-ю долю октавы, где значение параметра n выбирают отдельно для каждого конкретного случая.

d) Длительность вейвлета

Эффективная длительность вейвлетов 1-го типа определяется коэффициентом затухания синусоиды.

Длительность вейвлетов 2-го типа пропорциональна периоду синусоиды.

Длительность вейвлетов 3-го типа равна нечетному числу периодов в пределах окна Ханна.

e) Задержка вейвлета

Время задержки для каждого вейвлета выбирают таким образом, чтобы вейвлет (с учетом его длительности) полностью поместился в заданном временном окне.

f) Коэффициент затухания

Этот параметр задают только для вейвлетов 1-го типа.

g) Полярность

Каждый вейвлет в начальный момент времени может изменяться либо в положительном, либо в отрицательном направлении.

С.4 Воспроизведение ударного переходного процесса

В нормативном документе ударный спектр должен быть указан вместе с соответствующим значением добротности Q и другими параметрами. Исходный временной сигнал, на основе которого был построен ударный

спектр, указанный в нормативном документе, не всегда известен. Но если возможно, следует сопоставлять временные сигналы — исходный и синтезированный — в процессе испытаний.

При синтезе временного сигнала возбуждения необходимо обращать внимание на следующее.

a) Тип вейвлета (наиболее употребительные)

Желаемый результат обеспечивает, в той или иной степени, применение вейвлетов любого типа.

Экспоненциально затухающая синусоида (вейвлет 1-го типа), имеющая пик в начале сигнала, очень удобна для моделирования пироударов, но зачастую ее использование приводит к чрезмерно большим пиковым значениям ускорения в синтезированном временном сигнале.

Наиболее просто оценить влияние конкретного вейвлета на вид синтезированного сигнала, выбирая вейвлеты в форме отрезков синусоид постоянной амплитуды (вейвлеты 2-го типа).

Для импульсов с синусоидальным заполнением (вейвлеты 3-го типа) характерен плавный рост в начале (благодаря форме окна Ханна) и максимум в середине временного окна.

Длительностью синтезированного временного сигнала проще управлять, используя вейвлеты 2-го и 3-го типов.

b) Диапазон частот

Диапазон частот испытаний выбирают с учетом доступных значений частоты выборки. Он зависит от частотного состава ударных воздействий в условиях эксплуатации изделия, а также от частот, которые способно воспроизвести испытательное оборудование с закрепленным на нем образцом.

c) Временное окно

Длительность временного окна должна соответствовать синтезируемому временному сигналу. Среди всего прочего она зависит от выбранного диапазона частот испытаний и от частоты выборки.

В некоторых системах управления используют временное окно удвоенной длительности, помещая синтезируемый временной сигнал посередине этого окна.

d) Расстояние между частотами вейвлетов

Расстояние между соседними частотами вейвлетов должно быть фиксированным во всем диапазоне частот испытаний. Низшую частоту выбирают таким образом, чтобы она попадала на участок подъема ударного спектра. Расстояние между соседними частотами вейвлетов не должно быть менее 1/3 октавы — при этом погрешность воспроизведения ударного спектра не будет (теоретически) превышать минус 2,5 дБ. При расстояниях в 1/6 октавы эта погрешность будет менее минус 0,5 дБ. Чем больше число используемых вейвлетов, тем точнее подгонка ударного спектра.

e) Длительность вейвлетов

Длительность вейвлета (за исключением вейвлета в форме затухающей синусоиды) определена числом периодов или полупериодов формирующей его синусоиды. Для низкочастотных вейвлетов ограничивающим фактором является длительность временного окна.

Число периодов синусоиды для каждого вейвлета должно быть от 3 до 10.

При добротности $Q = 10$ усиление одиночного вейвлета в ударном спектре составляет 6 при длительности 3 периода, 8,1 при длительности 5 периодов и 9,7 при длительности 12 периодов. Однако следует учитывать и то, что в присутствии вейвлетов на двух соседних частотах, отстоящих друг от друга на 1/3 октавы, номинальное усиление, равное 10, достигается за 10 периодов, а при расстоянии в 1/6 октавы — за 7 периодов.

f) Пиковые значения вейвлетов

При начальном формировании задающего сигнала пиковое значение ускорения для каждого вейвлета выбирают равным 1/10 значения ударного спектра на той же частоте. В процессе испытаний это значение автоматически корректируется системой управления.

g) Время задержки вейвлетов

Время задержки должно быть своим для каждого вейвлета с учетом того, что вейвлет должен полностью поместиться в пределах заданного временного окна. На практике начало вейвлетов с частотами в двух низших октавах — из-за их большей длительности — совмещают с началом временного окна. Вейвлеты с максимальными пиковыми значениями должны следовать друг за другом без перекрытия, начинаясь в первой половине окна, чтобы не допустить слишком больших пиковых значений синтезируемого временного сигнала и добиться того, чтобы данный сигнал к своему концу имел затухающий вид. Остальные вейвлеты размещают в пределах временного окна, избегая значительных перекрытий.

Рекомендуется точно знать, где именно расположен каждый вейвлет синтезируемого сигнала, поскольку иногда возникает необходимость изменения их положений. Это происходит, когда комбинация вейвлетов вызывает слишком большое пиковое значение временного сигнала или когда другие параметры сигнала выходят за пределы возможностей испытательного оборудования.

h) Полярность вейвлетов

При начальном формировании временного сигнала рекомендуется, чтобы все вейвлеты были одной полярности. После этого полярность каждого вейвлета изменяют индивидуально, добиваясь снижения пикового значения синтезированного сигнала.

i) Коэффициент затухания вейвлетов

Коэффициент затухания выбирают для вейвлетов 1-го типа. Рекомендуемый диапазон — от 2 % до 10 % критического коэффициента демпфирования.

С.5 Проведение испытаний

Поскольку система управления при испытаниях с воспроизведением ударного спектра не имеет цепи обратной связи и начальное формирование задающего сигнала не учитывает передаточных свойств испытательной установки с закрепленным на ней образцом, необходимо, чтобы итерационный процесс формирования временного сигнала возбуждения начинался с уровня на 12 дБ ниже окончательного.

Чтобы не допускать дополнительной нагрузки на образец, рекомендуется на начальном этапе (с пониженным уровнем) устанавливать на вибростол только устройство крепления без образца или, что предпочтительно, использовать вместо образца имитатор с аналогичными динамическими характеристиками.

В ходе процедуры подгонки уровень сигнала постепенно повышают сначала с шагом 3 дБ, а затем — при приближении к уровню основных испытаний — с шагом 1 дБ. После этого имитатор заменяют испытуемым образцом и синтезированный временной сигнал воспроизводят вновь. Если при этом достигнуты предельные характеристики испытательной установки, то может потребоваться изменить расположение вейвлетов во временном сигнале или скорректировать их характеристики, после чего итерационный процесс необходимо повторить. Итерационный процесс повторяют также каждый раз при изменении направления возбуждения.

Приложение D
(рекомендуемое)

Рекомендуемый диапазон частот испытаний с воспроизведением ударного спектра

В таблице D.1 приведены типичные диапазоны частот испытаний в зависимости от условий эксплуатации изделия.

Таблица D.1 — Примеры диапазонов частот испытаний

Условия эксплуатации	Диапазон частот, Гц
Сейсмические воздействия (оборудование установлено на полу или на поверхности земли)	1 — 35[1)]
Наземный транспорт	1 — 100 10 — 100 10 — 150 10 — 500
Воздушное судно	10 — 500 10 — 2000
Космический корабль	100 — 5000

[1)] Если собственная частота оборудования лежит ниже 1 Гц, рекомендуемый диапазон частот испытаний — от 0,1 до 35 Гц.

УДК 534.1:006.354 ОКС 19.040
29.020 Т34

Ключевые слова: удар, испытания на удар, машины, приборы, измерения, частотная характеристика, степень жесткости условий испытаний, ударный спектр

Редактор *Л.В. Афанасенко*
Технический редактор *Н.С. Гришанова*
Корректор *Е.Д. Дульнева*
Компьютерная верстка *В.И. Грищенко*

Сдано в набор 30.03.2009. Подписано в печать 26.06.2009. Формат 60x84 1/8. Бумага офсетная. Гарнитура Ариал. Печать офсетная. Усл. печ. л. 3,26. Уч.-изд. л. 3,20. Тираж 201 экз. Зак. 383.

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