ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

(IEC 60068-3-8:2003, IDT)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2016

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

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 международного стандарта, указанного в пункте 4

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 183 «Вибрация, удар и контроль технического состояния»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 20 октября 2015 г. № 1578-ст

4 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту МЭК 60068-3-8:2003 «Испытания на воздействие внешних факторов. Часть 3-8. Методические документы и руководство. Выбор метода испытаний на вибрацию» (IEC 60068-3-8:2003 «Environmental testing — Part 3-8: Supporting documentation and guidance — Selecting amongst vibration tests», IDT)

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

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

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Правила применения настоящего стандарта установлены в ГОСТ Р 1.0—2012 (раздел 8). Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «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 (www.gost.ru)

© Стандартинформ, 2016

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 Описание методов испытаний на вибрацию 2
5 Динамические воздействия в условиях эксплуатации изделия 4
6 Оценка реальных динамических условий эксплуатации изделия 5
7 Выбор метода испытаний 9
8 Исследование частотной характеристики образца 10
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным стандартам Российской Федерации и действующим в этом качестве межгосударственным стандартам 13
Библиография 14

Введение

Электротехнические детали и оборудование в процессе своего изготовления, транспортировки и применения могут подвергаться воздействию вибрации разной природы. В стандартах серии МЭК 60721-3 эти воздействия разбиты на классы в зависимости от того, имеют ли они место в стационарных или нестационарных условиях. Методы испытаний на стационарную и нестационарную вибрацию установлены стандартами серии МЭК 60068-2. В настоящем стандарте рассматривается руководство по выбору одного из методов испытаний на стационарную вибрацию, описанных в МЭК 60068-2-6 (гармоническая вибрация), МЭК 60068-2-64 (широкополосная случайная вибрация) и МЭК 60068-2-81 (комбинированная гармоническая и случайная вибрация).

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

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

ВЫБОР МЕТОДА ИСПЫТАНИЙ НА ВИБРАЦИЮ

Environmental dynamic testing for machines, instrument and other articles. Selecting amongst vibration tests

Дата введения — 2016—12—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает руководство по выбору из трех методов испытаний на воздействие стационарной вибрации (далее — испытаний на вибрацию) в форме гармонического сигнала (испытание Fc), широкополосной случайной вибрации (испытание Fh) или сочетания гармонического сигнала и случайной вибрации (испытание Fx), установленных стандартами серии МЭК 60068-2. Разница между методами испытаний и их назначение кратко рассмотрены в разделе 4. Настоящий стандарт не распространяется на выбор метода испытаний на нестационарную вибрацию.

При выборе испытания на вибрацию следует исходить из известных условий воздействий на изделие, в первую очередь динамических, на разных стадиях его эксплуатации. Сбор данных об условиях эксплуатации рассмотрен в разделе 5, оценка динамических условий — в разделе 6. В стандарте приведены примеры принятия решения о выборе метода испытаний для типичных условий воздействия вибрации и установлена процедура выбора метода испытаний для заданных условий эксплуатации. Поскольку в реальных условиях наиболее часто встречающимся видом динамического воздействия на изделие является случайная вибрация, испытания на воздействие вибрации данного вида являются наиболее распространенными (см. таблицу 1 раздела 7).

Методы испытаний, рассматриваемые в настоящем стандарте, могут быть использованы для оценки частотной характеристики испытуемого изделия (далее — образца) до, во время и после проведения испытаний. Выбор способа возбуждения рассмотрен в разделе 8 (см. таблицу 2).

Стандарт может быть использован составителями технических условий на изделие. При установлении параметров вибрационного воздействия для выбранного метода испытаний следует руководствоваться требованиями стандарта на данный метод (см. раздел 2).

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

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

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

МЭК 60068-2-64 Испытания на воздействие внешних факторов. Часть 2-64. Методы испытаний. Испытание Fh. Метод широкополосной случайной вибрации (с цифровым управлением испытаниями) и руководство [IEC 60068-2-64, Environmental testing — Part 2-64: Test methods — Test Fh: Vibration, broadband random (digital control) and guidance]

МЭК 60068-2-80 Испытания на воздействие внешних факторов. Часть 2-80. Испытания. Испытание Fi. Вибрация, сочетающая воздействия разных типов (IEC 60068-2-80:2005, Environmental testing — Part 2-80: Tests — Test Fi: Vibration — Mixed mode)

Издание официальное

МЭК 60721-3 (все части) Классификация условий окружающей среды. Часть 3. Классификация групп параметров окружающей среды и жесткостей воздействия (IEC 60721-3, Classification of environmental conditions — Part 3: Classification of groups of environmental parameters and their severities)

МЭК 60721-4 (все части) Классификация условий окружающей среды. Часть 4. Руководство по сопоставлению и преобразованию классов условий окружающей среды по МЭК 60721-3 в условия испытаний по МЭК 6006+8-2 (IEC 60721-4, Classification of environmental conditions — Part 4: Guidance for the correlation and transformation of environmental condition classes of IEC 60721-3 to the environmental tests of IEC 60068-2)

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

ИСО 5348 Вибрация и удар. Механическое крепление акселерометров (ISO 5348, Mechanical vibration and shock — Mechanical mounting of accelerometers)

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ИСО 2041, МЭК 60068-1, МЭК 60068-2-6 и МЭК 60068-2-64, а также следующие термины с соответствующими определениями.

3.1 **динамические условия** (dynamic conditions): Параметры, описывающие воздействие вибрации на образец.

3.2 **стационарная вибрация** (stationary vibration): Вид вибрации, при котором все характеризующие ее параметры (статистические и спектральные) неизменны во времени.

3.3 **качание частоты** (frequency sweep): Изменение частоты возбуждения во время испытания на гармоническую вибрацию.

Примечание — Определения для испытаний на гармоническую вибрацию — по МЭК 60068-2-6.

3.4 **линейчатый спектр** (linear spectrum): Вид спектра [получаемого обычно с применением быстрого преобразования Фурье (БПФ) в единицах, например, $(м/с^2) \cdot с$, $g/Гц$ или $g \cdot с$], используемый для описания периодических сигналов.

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

3.6 **автокорреляция** (autocorrelation): Статистическая мера связи одной части сигнала с другой частью (отстоящей на некоторый интервал времени) того же сигнала.

Примечание — Преобразование Фурье автокорреляции как функции времени представляет собой (авто)спектр сигнала. Значение автокорреляции может изменяться в пределах от минус единицы до плюс единицы.

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

3.8 **критическая частота** (critical frequency): Частота, на которой проявляются вызываемое вибрацией неправильное функционирование или ухудшение свойств образца либо механические резонансы или другие особенности отклика образца (например, дребезг).

4 Описание методов испытаний на вибрацию

4.1 Общие положения

Испытания на воздействие внешних факторов заключаются в моделировании в условиях лаборатории воздействий вибрации, наблюдаемых при эксплуатации изделия. В процессе испытаний на вибрацию воспроизводят разные виды возбуждения образца, находящегося, например, на столе вибростенда. Разные методы испытаний различаются разными видами воспроизводимой вибрации.

4.2 Методы испытаний

Гармоническая и случайная вибрация представляют собой разные физические процессы и оказывают разное влияние на образец. Поэтому при выборе вида возбуждения следует иметь в виду, что точную эквивалентность гармонической и случайной вибрации с точки зрения вызываемых ими послед-

ствий для образца установить невозможно, и в связи с этим не следует преобразовывать жесткость условий испытаний на гармоническую вибрацию в жесткость испытаний на случайную вибрацию и наоборот.

Ниже приведено краткое описание разных методов испытаний на стационарную вибрацию.

4.2.1 Испытания на гармоническую вибрацию

В испытаниях на гармоническую вибрацию, установленных МЭК 60068-2-6, применяют возбуждение гармонической вибрацией с постоянными или переменными частотами и амплитудами. В каждый момент времени на образец воздействует вибрация только на одной частоте. Условия испытаний включают в себя диапазон изменения частоты или набор фиксированных частот возбуждения, амплитуды вибрации и длительности воздействия.

Вибрация на одной неизменной частоте практически не встречается в реальных условиях применения изделия. Одним из немногих исключений может быть вибрация, наблюдаемая непосредственно на машине вращательного действия. Однако конструктивные допуски и зазоры, например, в подшипниках и зубчатых передачах, приводят обычно к небольшим изменениям частоты. Кроме того, вследствие случайной природы источников силового возбуждения в вибрации вращающихся машин присутствует некоторая случайная составляющая.

Гармоническая вибрация представляет собой детерминированный процесс, т. е. значение сигнала в определенный момент времени можно точно предсказать из его предыстории.

Испытания на вибрацию данного вида с качанием частоты могут быть успешно применены там, где необходимо определить время до отказа, если отказ может быть ассоциирован с какими-то характерными частотами. Определить искомый параметр с помощью испытаний на случайную вибрацию может быть значительно сложнее. Однако в сравнении с испытаниями на случайную вибрацию испытания на гармоническую вибрацию требуют большего времени, поскольку в процессе качания на характерной частоте отказа вибрация действует только ограниченное время. Хотя в каждый момент времени на образец воздействует вибрация только на одной частоте, это не исключает возможности развития колебаний образца на одной из его резонансных частот до максимальной амплитуды, если скорость качания достаточно мала. Испытание данного вида может применяться также с целью определения возможных нежелательных резонансов, например, при проверке проектных решений или в процессе доводочных испытаний.

Испытание на гармоническую вибрацию с постоянной частотой применяют, если известны:

a) частота вынуждающей силы, действующей на изделие в условиях его применения;

b) резонансные частоты образца.

4.2.2 Испытания на случайную вибрацию

При испытаниях данного вида, установленных МЭК 60068-2-64, в каждый момент времени возбуждают случайную вибрацию, включающую в себя все составляющие заданного диапазона частот. Мгновенные значения случайного процесса распределены по нормальному закону. Распределение вибрации по диапазону частот задается кривой спектральной плотности ускорения.

Случайная вибрация представляет собой вид динамического воздействия на изделие, который наиболее часто встречается в реальных условиях его эксплуатации. Значение случайного процесса в каждый момент времени не может быть точно предсказано по его предыстории и допускает определение лишь в вероятностном смысле. Случайные воздействия применимы в большинстве случаев при расчетах усталостных повреждений, смены знака напряжения в материале и т. п.

В отличие от испытаний на гармоническую вибрацию в испытаниях на случайную вибрацию происходит непрерывное возбуждение всех резонансов на протяжении всего времени испытаний, хотя эти резонансы и не развиваются до предельных уровней. В лабораторных условиях в большинстве случаев используют случайное возбуждение с пик-фактором, равным трем, что означает, что мгновенные значения сигнала возбуждения лежат в диапазоне от нуля до его утроенного среднеквадратичного значения. Еще одно отличие заключается в том, что при случайном возбуждении наблюдаются неравномерные изменения знака нагружения, что может повлиять на накопление усталостных повреждений и, следовательно, на расчет срока службы образца до отказа.

4.2.3 Испытания на комбинированную вибрацию

При использовании данного метода, установленного МЭК 60068-2-80, одновременно возбуждают гармоническую и случайную вибрацию. Таким образом могут быть воспроизведены условия реального воздействия на изделие нескольких источников вибрации. В зависимости от типов сочетаемых возбуждений применяют комбинированную вибрацию одного из следующих видов:

- гармоническая и случайная широкополосной (SoR);
- случайная широкополосная и узкополосная (RoR);
- гармоническая, случайная широкополосная и узкополосная (SoRoR).

Примечание — МЭК 60068-2-80 не распространяется на сочетание ударных (переходных) процессов и случайной вибрации (как, например, в испытаниях на пулестойкость).

Данный метод испытаний сочетает в себе преимущества методов испытаний на гармоническую и широкополосную вибрацию, позволяя более реалистично имитировать условия эксплуатации изделия. Он добавляет гибкости в моделирование условий вибрационных воздействий, позволяя избежать воспроизведений вибрации как избыточной, так и недостаточной жесткости, которые могут иметь одинаково неблагоприятные последствия. Главным же недостатком метода является его повышенная сложность, требующая более высокой квалификации оператора.

4.2.4 Ускоренные испытания

Часто бывает необходимо провести испытание на вибрацию в сокращенные сроки, что вынуждает увеличивать степень жесткости возбуждения по сравнению с динамическими условиями при эксплуатации изделия. Повышение мощности вибрации ведет к увеличению механических напряжений в изделии, сокращая тем самым срок службы вследствие усталостных повреждений. В общем случае ускоренные испытания могут быть проведены с использованием всех трех методов, указанных в 4.2.1—4.2.3.

Ускоренные испытания требуют особой тщательности в выборе коэффициентов ускорения, поскольку могут вызывать разнообразные виды отказов в зависимости от конструкции испытуемого образца (наличия люфтов, нелинейности и т. п.), входящих в него материалов (наличия надрезов, сварных соединений, эффектов термообработки), нагружений образца и других факторов. При использовании чрезмерно больших коэффициентов ускорения возможно появление нетипичных отказов в нетипичных местах образца (см. ИСО 60068-1) или, наоборот, какие-то важные виды отказов могут быть не выявлены. Например, может остаться необнаруженной фреттинг-коррозия контактирующих поверхностей из-за ослабления соединения между ними.

Ниже приведен пример ускоренного испытания для образца из низкоуглеродистой стали.

Для выявления усталостных отказов такого образца рекомендуется использовать коэффициенты ускорения, не превышающие двух. Это означает, что должны выполняться следующие соотношения:

a) при испытаниях на гармоническую вибрацию:

$$a_{peak} \le 2a_{peak,\ real\ life},$$

где a_{peak} и $a_{peak,\ real\ life}$ — максимальные значения ускорения при испытаниях и в реальных условиях применения изделия соответственно;

b) при испытаниях на случайную вибрацию:

$$a_{rms} \le 2a_{rms,\ real\ life},$$

где a_{rms} и $a_{rms,\ real\ life}$ — среднеквадратичные значения ускорения при испытаниях и в реальных условиях применения изделия соответственно.

Примечание — В случае испытаний на усталостный отказ образцов из низкоуглеродистой стали применение коэффициента ускорения, равного двум, соответствует сокращению времени испытаний от 8 до 32 раз.

Применение повышенных коэффициентов ускорений возможно только при наличии детальных знаний о самом образце, возможных видах его отказов, возможных местах отказов, механических напряжениях в этих местах, о материале образца и его усталостных характеристиках (кривой усталости). При известной кривой усталости материала коэффициент ускорения выбирают с учетом необходимого снижения числа циклов нагружения до отказа и, соответственно, повышения механических напряжений. В целях ускоренных испытаний рекомендуется возбуждать гармоническую вибрацию на фиксированных или резонансных частотах.

5 Динамические воздействия в условиях эксплуатации изделия

5.1 Общие положения

Испытания на стойкость к внешним механическим факторам позволяют в лаборатории имитировать эффект реальных воздействий на изделие в условиях его эксплуатации. В настоящем разделе рассматривается оценка этих условий.

5.2 Сбор информации

Определяют жизненный цикл изделия (см. МЭК 60721-4).

Описывают динамические условия на каждой стадии жизненного цикла.

Идентифицируют и описывают вибрационные воздействия, которые могут иметь место, включая:
- оценку влияния внешних источников;
- оценку влияния внутренних источников;
- оценку влияния источников вращательного действия.

5.3 Определение динамических условий

По информации, собранной в соответствии с 5.2, классифицируют динамические условия в соответствии с таблицей 1. Если ни один из классов таблицы не подходит, то оценивают тип динамических условий согласно разделу 6.

Таблица 1 — Примеры условий эксплуатации/механических воздействий и рекомендуемые методы испытаний

Условия эксплуатации/внешнее воздействие		Стандарт и вид воспроизводимой вибрации		
		МЭК 60068-2-80	МЭК 60068-2-64	МЭК 60068-2-6
		Случайная + гармоническая	Случайная	Гармоническая
Вне условий стационарного применения	Хранение		+	
	Применение (для переносного образца)		+	
	Транспортирование		+	
Место стационарного применения образца	Внутри здания		+	
	Внутри здания вблизи машин вращательного действия			+
	На дорожном и железнодорожном транспорте		+	
	На двигателях или вблизи них	+		
	На реактивных самолетах	+	+	
	На вертолетах и винтовых воздушных судах	+		
	В космических системах, при имитации квазистационарных нагрузок[a]			+
	Как компоненты космических систем		+	
	На винтовых судах	+		
	На судах с водометным движителем		+	
Динамические условия (оценка), тип вибрации	Случайная + гармоническая	+		
	Случайная		+	
	Гармоническая			+

Примечание — Описание классов динамических условий — по МЭК 60721-3-0.

[a] Во время испытаний при вводе в эксплуатацию линейное ускорение моделируют гармонической вибрацией на частоте, много меньшей первой собственной частоты космического судна, в течение нескольких периодов вибрации.

6 Оценка реальных динамических условий эксплуатации изделия

6.1 Общие положения

Если динамические условия эксплуатации для данного изделия не соответствуют указанным в 5.3 и таблице 1, то их следует оценивать иным способом. Существует несколько способов получения информации о динамических условиях:
- по измерениям вибрации на разных этапах жизненного цикла изделия;
- на основе опыта испытаний подобных изделий и других суждений;
- применением соответствующего стандарта, например, серии МЭК 60721-3. Следует определить, какое испытание наилучшим способом сможет имитировать реальные условия эксплуатации

изделия. Например, для имитации перевозки изделия в упакованном виде на винтокрылом летательном аппарате наилучшим может оказаться сочетание не гармонической и случайной вибрации, а случайной вибрации двух видов — узкополосной и широкополосной;

- экстраполяция условий предшествующих испытаний.

На данном этапе определяют только вид вибрационного воздействия, который нужно будет воспроизвести во время испытаний, без уточнения необходимой жесткости воздействия. Предпочтительным является способ с использованием измерений вибрации в условиях эксплуатации. Это предполагает, однако, возможность проведения таких измерений или возможность воспользоваться результатами аналогичных измерений, проведенных ранее.

Примечание — Поскольку указанный предпочтительный способ одновременно является и наиболее затратным, рекомендуется, чтобы по результатам измерений был сделан вывод также и о степени жесткости воспроизводимой в испытаниях вибрации.

6.2 Измерения вибрации в условиях эксплуатации

В настоящем стандарте рассматриваются только основные этапы измерения и анализа вибрации для целей выбора метода испытаний.

Примечание — Более подробную информацию можно найти в [2]—[5] и [7].

6.2.1 Планирование

Этап планирования очень важен с точки зрения получения надежных результатов измерений. На этом этапе выполняют:

- выбор мест (и направлений) измерений вибрации, которые должны располагаться по возможности ближе к точкам крепления образца;
- выбор типа и числа преобразователей (о способах их установки см. ИСО 5348);
- выбор системы сбора данных;
- выбор динамического и частотного диапазонов аналого-цифрового преобразования;
- определение условий работ средств измерений и продолжительности измерений;
- поиск возможных ошибок измерений и оценку неточности исходных данных.

6.2.2 Проверка калибровки до измерения

Перед каждым измерением выполняют проверку калибровки измерительной цепи. Одновременно оценивают возможные ошибки измерений, например, вследствие повышенных собственных шумов измерительной цепи, прерывистых помех или изменений напряжения питания. Все применяемые измерительные средства должны быть калиброваны.

6.2.3 Сбор данных

Данные собирают в условиях применения изделия, определяемых климатическими и иными параметрами. Поскольку эти условия могут оказывать влияние на измеряемые величины, их знание необходимо для объяснения возможных аномальных результатов измерений.

6.2.4 Проверка калибровки после измерения

После выполнения этапа по 6.2.3 повторно выполняют проверку калибровки измерительной цепи, чтобы убедиться, что измерения были выполнены в стабильных условиях работы средства измерений.

6.3 Анализ данных

6.3.1 Общие положения

Сигналы вибрации, измеренные в реальных условиях эксплуатации изделия, могут быть детерминированными или случайными процессами или сочетать в себе свойства тех и других. Для определения характера сигналов используют следующие основные методы их анализа: спектральный анализ, построение плотности вероятности распределения мгновенных значений, расчет функции автокорреляции.

Примечание — Перечисленные методы анализа применяют в предположении стационарности измеряемого сигнала. Если это условие не выполняется, то следует разделить стационарную и нестационарную составляющую и к каждой из них применить соответствующие методы анализа.

Прежде чем выбрать тот или иной метод анализа сигнала вибрации, рекомендуется наблюдать его визуально во временной и частотной областях, чтобы обнаружить возможные нежелательные эффекты, связанные с преобразованиями сигнала измерительной цепью, такие как:

- насыщение (клиппирование) сигнала;
- изменения среднего уровня сигнала;
- пропадание сигнала;
- повышенный цифровой шум (вследствие выбора слишком большого динамического диапазона);

- резко выпадающие значения;
- искажения при аналого-цифровом преобразовании.

В процессе визуального контроля спектра могут быть выделены четко выраженные пики, связанные с определенными физическими источниками. Такие пики могут быть следствием периодического возбуждения, например, от машин вращательного действия или наличия слабо демпфированных резонансов конструкции изделия. В последнем случае пик будет соответствовать не периодическому, а случайному сигналу.

6.3.2 Спектральный анализ

Периодические и случайные сигналы по-разному будут вести себя при изменении ширины спектральной линии. Поскольку спектральный пик детерминированного сигнала теоретически имеет нулевую ширину, его ширина всегда будет равна ширине спектральной линии. Это означает, что ширина пика будет зависеть от используемого разрешения по частоте.

В свою очередь узкополосная случайная составляющая не будет зависеть от ширины спектральной линии при условии, что последняя много меньше ширины полосы случайного сигнала.

При анализе сигналов в узких полосах частот полезно использовать два вида спектров: линейчатый и спектральную плотность ускорения. Если используется линейчатый спектр, то с уменьшением ширины линии высота пика узкополосной случайной составляющей сигнала будет уменьшаться, а высота периодической составляющей останется неизменной. При использовании спектральной плотности ускорения с уменьшением разрешения по частоте высота пика узкополосного случайного сигнала изменяться практически не будет, а периодического сигнала уменьшится.

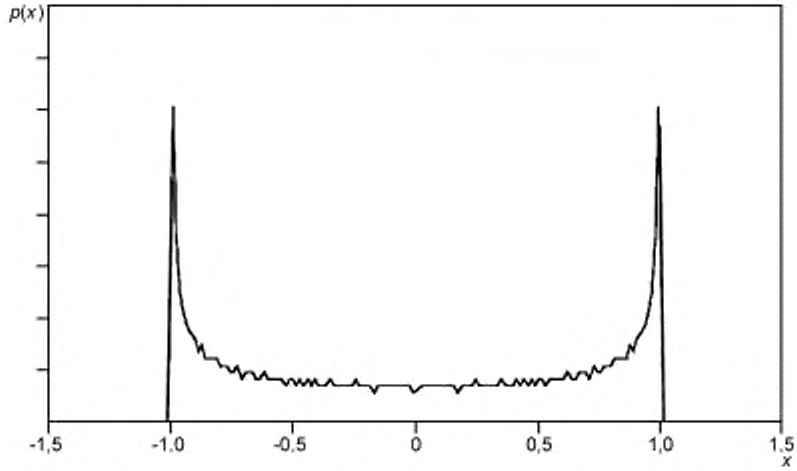
6.3.3 Анализ плотности распределения вероятностей

Плотность распределения вероятностей описывает относительную вероятность $p(x)$ того, что в произвольный момент времени значение сигнала будет равно x. Для случайных сигналов обычно предполагают, что они подчиняются нормальному (гауссовскому) распределению.

Построение плотности распределения в узкой полосе частот очень полезно при анализе квазипериодических сигналов, например тех, что наблюдаются у машин вращательного действия с переменной частотой вращения, или при амплитудной модуляции периодического сигнала случайным сигналом (см. [7]).

Если спектральный пик принадлежит узкополосному случайному сигналу, то форма плотности распределения вероятностей отфильтрованного сигнала будет очень близка к гауссовской.

Плотность распределения вероятностей для гармонического сигнала показана на рисунке 1. Если сигнал представляет собой смесь гармонической и случайной составляющей, то его плотность распределения будет иметь вид, как показано на рисунке 2.



Примечание — На теоретическую кривую наложено распределение небольшого шума от устройств преобразования сигнала.

Рисунок 1 — Плотность распределения вероятностей для гармонического сигнала

Форма плотности распределения дает важную информацию о составляющих сигнала разных видов и соотношениях между ними, которую используют при выборе метода испытаний (см. раздел 7).

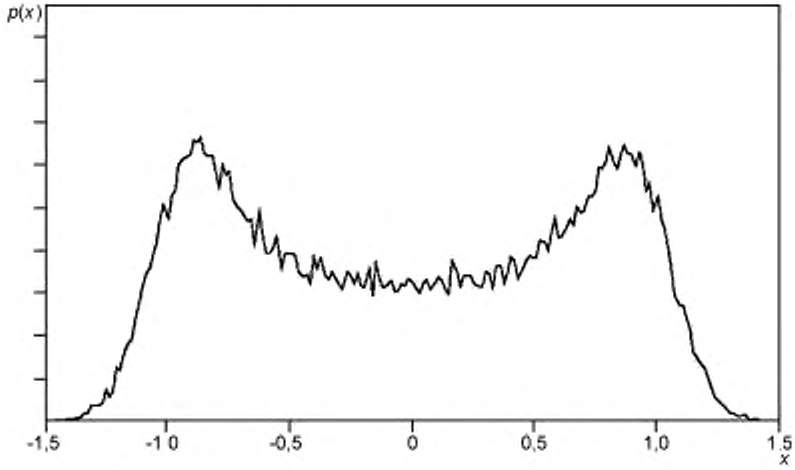


Рисунок 2 — Плотность распределения вероятностей для смеси гармонического и случайного сигналов

6.3.4 Функция автокорреляции

Функция автокорреляции представляет собой обратное преобразование Фурье спектральной плотности ускорения и также с успехом может использоваться при необходимости отличить гармонический сигнал от случайного.

Для гармонического сигнала функция автокорреляции всегда имеет вид синусоиды, как показано на рисунке 3а).

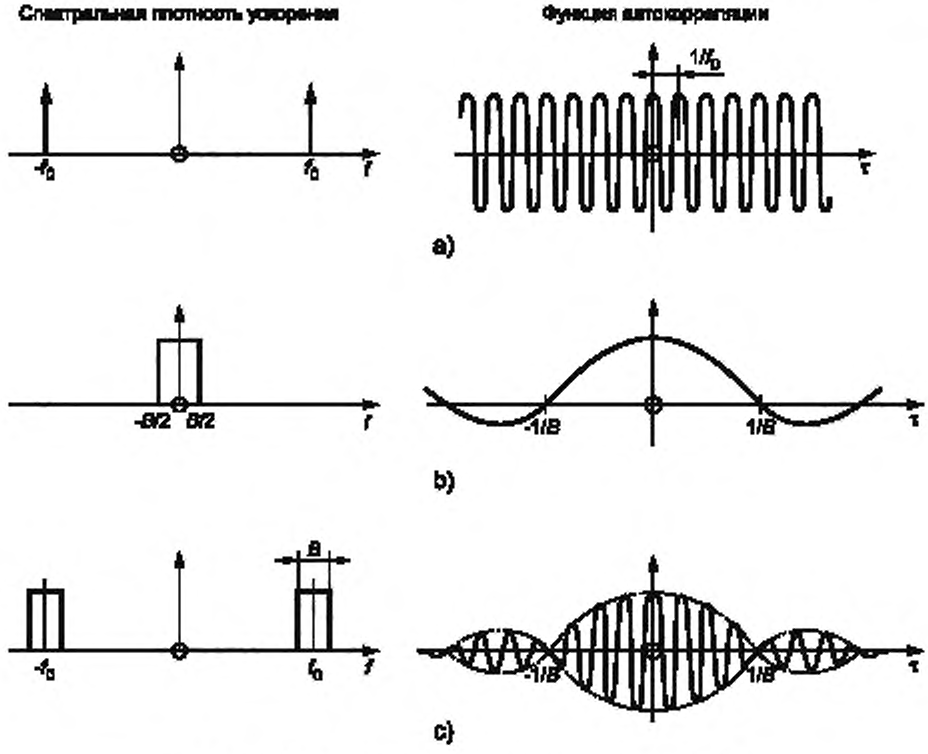


Рисунок 3 — Функции автокорреляции разных сигналов[1)]

[1)] Рисунок взят из [8].

Функция автокорреляции случайного сигнала, полученного, например, после прохождения широкополосного шума через фильтр нижних частот с частотой среза $B/2$, имеет вид $\sin x/x$ с нулями, кратными $1/B$ [см. рисунок 3b)]. Если же случайный сигнал является узкополосным в полосе с центральной частотой f_0, то его автокорреляционная функция будет представлять собой произведение автокорреляционных функций, изображенных на рисунках 3a) и 3b) [см. рисунок 3c)].

7 Выбор метода испытаний

7.1 Общие положения

Принимая решение о выборе метода испытаний на вибрацию, необходимо учитывать:
- условия вибрационного воздействия (раздел 5);
- типы условий эксплуатации и воздействий (5.3);
- оценку динамических условий (раздел 6).

Кроме того, необходимо определить, будет ли образец при эксплуатации закреплен на вибрирующей поверхности (например, во время транспортирования). Выбор метода испытаний осуществляют в соответствии с таблицей 1.

Если динамические условия оценены в соответствии с разделом 6, то используют три последние строки таблицы 1.

Примечание — Подробности обработки данных и определения условий испытаний рассмотрены в [5].

7.2 Испытания на гармоническую вибрацию

7.2.1 Достоинства

Данный метод позволяет проводить испытания с использованием простого и недорогого испытательного оборудования. Он может также использоваться в диагностических целях при доводке конструкции изделия.

Поведение образца при гармоническом возбуждении понятно и легко визуализируется, поэтому данный метод часто используют для получения частотной характеристики изделия, например с использованием стробоскопа.

Возбуждение гармонической вибрацией постоянной амплитуды может применяться в целях испытаний образца на усталость (ускоренные испытания — см. 4.3). Проводя испытания на резонансной частоте образца, можно усилить эффект воздействия при ограниченных возможностях вибростенда.

7.2.2 Недостатки

При гармоническом возбуждении отклик образца может быть чрезмерно большим из-за его резонансных свойств. Как следствие, обнаруженные виды отказов и области их локализации могут быть нетипичными для образца.

Опыт показывает, что иногда оценка срока службы (и виды отказов), полученная в ходе испытаний с применением гармонического возбуждения, плохо соотносится с реальным сроком службы (и видами отказов) изделия в условиях эксплуатации. Поэтому оценка результатов испытаний на гармоническую вибрацию может осуществляться только персоналом, имеющим большой опыт работ данного вида.

7.3 Испытания на случайную вибрацию

7.3.1 Достоинства

Случайная вибрация почти всегда хорошо подходит для описания условий транспортирования образца.

Если данные о вибрации в условиях эксплуатации не показывают наличия значительных гармонических составляющих, то испытания на случайную вибрацию всегда можно считать хорошим выбором наряду с испытаниями на комбинированную вибрацию.

В данном виде испытаний одновременно возбуждаются многие резонансы, однако при этом жесткость воздействия остается существенно меньшей, чем при гармоническом возбуждении. Соответственно, наличие резонансов не приводит к нетипичным результатам испытаний на усталость.

Примечание — См. [6].

7.3.2 Недостатки

Данный метод испытаний требует применения более сложного испытательного оборудования и более опытного персонала, способного работать на этом оборудовании.

7.4 Испытания на комбинированную вибрацию

7.4.1 Достоинства

Метод позволяет сочетать разные виды вибрационного возбуждения. Это самый современный метод испытаний, позволяющий создать в лабораторных условиях возбуждение, наиболее приближенное к воздействиям при эксплуатации изделия. Поэтому он позволяет выявить более реалистичные механизмы повреждений образца и осуществить более точную локализацию этих повреждений, чем другие методы испытаний.

7.4.2 Недостатки

Как начальные измерения, так и выдержка в основном режиме испытаний требуют точного описания соотношения между случайной и детерминированной составляющими возбуждения. Сложность измерений и анализа данных в этом методе много выше, чем в испытаниях на гармоническую или случайную вибрацию.

Комбинированное воздействие требует более высоких максимальных значений вынуждающей силы, а значит и предъявляет более высокие требования к испытательному оборудованию при воспроизведении вибрации одинаковой жесткости.

8 Исследование частотной характеристики образца

8.1 Общие положения

Если это предписано соответствующими техническими условиями, то перед испытаниями и после испытаний образца на механическую стойкость проводят исследование его частотной характеристики, чтобы выяснить, не явилось ли следствием механических воздействий изменение частотной характеристики образца, связанное с ухудшением его состояния, например, из-за накопленных усталости и износа.

Кроме того, при использовании метода испытаний по МЭК 60068-2-64 перед выдержкой образца получают его частотную характеристику с целью определения остроты пиков и, соответственно, необходимого разрешения по частоте в системе управления испытаниями.

Полезные сведения об образце можно получить, измеряя вибрационные характеристики как всего образца в целом, так и его отдельных частей, например передаточные функции для разных точек конструкции образца.

При наличии сомнений в способности вибростенда воспроизвести заданную вибрацию полезно определить частотную характеристику самого вибростенда без установленного на нем образца.

8.2 Цели исследования

Исследования частотной характеристики образца могут быть проведены с целью:

a) определить критические частоты и/или коэффициент демпфирования для выбора условий испытаний на механическую стойкость;

b) обнаружить изменения в частотной характеристике после проведения испытаний на механическую стойкость, чтобы оценить усталостные повреждения или отказы, проявившиеся во время испытания (см. 8.6);

c) изучить поведение образца с помощью стробоскопа для определения динамических характеристик при гармоническом возбуждении;

d) измерить коэффициент передачи или передаточную характеристику между различными точками образца для изучения его динамических свойств;

e) измерить коэффициенты демпфирования на резонансных частотах для изучения динамических свойств образца;

f) оценить нелинейность отклика образца для исследования зазоров, дребезга, ослабления болтовых соединений, изменения жесткости пружин;

g) оценить искажения воспроизводимого сигнала возбуждения для контроля условий испытаний при установленном образце или для контроля испытательного оборудования при снятом образце;

h) оценить нелинейность воспроизводимой вибростендом вибрации для исследования ослаблений соединений в испытательном оборудовании или выявления неправильного режима работы усилителя.

Метод исследования должен быть определен в документе на испытания (технических условиях). Если целью является сравнение значений критических частот до и после выдержки в заданных условиях возбуждения, то частотную характеристику до и после испытаний в основном режиме получают

одним и тем же способом с использованием одних и тех же уровней возбуждения, способов крепления образца и точек крепления.

8.3 Гармоническое возбуждение

Гармоническое возбуждение рекомендуется в случаях, когда необходимо:

a) наблюдать на осциллографе временные реализации разных сигналов для выявления их искажений;

b) наблюдать за поведением образца с помощью стробоскопа;

c) проверить наличие нелинейности отклика образца;

d) обнаружить критические частоты, связанные с дребезгом в соединениях внутри образца.

Следует иметь в виду, что гармоническое возбуждение может вызвать неоправданно долгое нахождение на резонансе и, как следствие, чрезмерные механические нагружения образца.

8.4 Случайное возбуждение

Случайное возбуждение вызывает эффект линеаризации отклика для образца с нелинейной конструкцией. Поэтому его можно использовать для определения резонансных частот, коэффициентов демпфирования, коэффициента передачи или передаточной функции только тогда, когда при уровнях возбуждения, аналогичных наблюдаемым в условиях эксплуатации изделия, ожидается линейность отклика.

Если предполагают, что отклик образца будет нелинейным, то возбуждение в условиях лаборатории следует осуществлять с теми же уровнями вибрации, что наблюдаются в реальных динамических условиях. В этом случае результатом будет наилучшая (в смысле метода наименьших квадратов) линейная аппроксимация частотной характеристики при заданном уровне входного возбуждения.

Случайное возбуждение рекомендуется использовать в тех случаях, когда гармоническое возбуждение вследствие задержки на резонансе может привести к чрезмерным механическим нагружениям образца.

Как правило, время возбуждения случайной вибрации с числом степеней свободы от 120 до 200 (обычно этого достаточно для получения спектральной плотности ускорения) меньше, чем при исследованиях с применением качания частоты гармонического возбуждения. Число степеней свободы менее 120 допустимо, если определение частотной характеристики образца не требует высокой точности.

Согласно МЭК 60068-2-64 возбуждение должно представлять собой истинно случайный процесс с непрерывным распределением вероятностей. Иногда в целях сокращения времени испытаний используют периодические или квазипериодические сигналы. Такие сигналы не имеют гладкого распределения в частотной области, поэтому особенности конструкции образца, проявляющиеся в узких полосах частот, могут остаться необнаруженными.

8.5 Выявление неисправностей

В процессе исследований могут быть выявлены такие проблемы, как чрезмерный шум или дребезг вследствие ослабления соединений или резонансов устройства крепления образца. Для выявления причины таких проблем рекомендуется использовать гармоническое возбуждение с контролем формы временного сигнала во время испытаний. Отклонения формы от синусоидальной часто бывают обусловлены дребезгом или зазорами.

Для выявления неисправностей испытательного оборудования (вибростенда, усилителя) используют случайное возбуждение. Полученное значение коэффициента передачи сравнивают с тем, что было определено во время приемочных испытаний оборудования или после его технического обслуживания.

8.6 Критерии прохождения/непрохождения испытаний

Изменение критических частот после испытаний на механическую стойкость может быть использовано как один из критериев.

Характер возбуждения (гармоническое или случайное) выбирают с учетом того, что два разных метода возбуждения могут приводить к разным результатам, особенно при нелинейном поведении образца. В общем случае рекомендуется использовать случайное возбуждение, в то время как гармоническое возбуждение применяют тогда, когда необходимо точное измерение характеристик (см. таблицу 2).

Таблица 2 — Рекомендуемые методы исследования частотной характеристики

Цель исследования/определяемые характеристики	Предпочтительное возбуждение	
	Точные исследования	Быстрые исследования
Характеристики образца		
Передаточная функция	Гармоническое	Случайное
Резонансная частота	Гармоническое	Случайное
Коэффициент демпфирования	Гармоническое	Случайное
Нелинейность (зазоры, ослабления, изменения жесткости пружин)	Гармоническое (с контролем формы сигнала)	
Определение форм вибрации с помощью стробоскопа	Гармоническое	
Решение о прохождении/непрохождении испытаний	Случайное	
Неисправности испытательного оборудования		
С установленным образцом и без него	Гармоническое (с контролем формы сигнала)	Случайное (сравнение частотных характеристик)

8.7 Сведения, приводимые в документе на испытания (технических условиях)

Если в технические условия включен критерий прохождения/непрохождения испытаний на основе изменения критических частот, то в них должны быть приведены следующие требования к измерениям:

a) крепление образца;
b) форма вибрационного возбуждения;
c) расположение точек измерений;
d) направления возбуждения вибрации;
e) характер возбуждения (гармоническое или случайное);
f) жесткость возбуждения;
g) максимально допустимое изменение критической частоты;
h) максимально допустимая погрешность измерения частоты.

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным стандартам Российской Федерации и действующим в этом качестве межгосударственным стандартам

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего национального стандарта
ИСО 2041	IDT	ГОСТ Р ИСО 2041—2012 «Вибрация, удар и контроль технического состояния. Термины и определения»
ИСО 5348	IDT	ГОСТ ИСО 5348–2002 «Вибрация и удар. Механическое крепление акселерометров»
МЭК 60068-1	—	*
МЭК 60068-2-6	—	*
МЭК 60068-2-64	—	*
МЭК 60068-2-80	—	*
МЭК 60721-3	—	*
МЭК 60721-4	—	*

* Соответствующий национальный стандарт отсутствует. До его утверждения рекомендуется использовать перевод на русский язык данного международного стандарта. Перевод данного международного стандарта находится в Федеральном информационном фонде технических регламентов и стандартов.

Примечание — В настоящей таблице использовано следующее условное обозначение степени соответствия стандартов:
- IDT — идентичный стандарт.

Библиография

[1] IEC 60721-3-0:1984, Classification of environmental conditions — Part 3-0: Classification of groups of environmental parameters and their severities — Introduction

[2] DIN 30787-2:1998, Transportation loads; Measurement and analysis of dynamic-mechanical loads — Part 2: Data acquisition and general requirements for measuring equipment

[3] DIN 30787-3:1998, Transportation loads; Measurement and analysis of dynamic mechanical loads — Part 3: Data validity check and data editing for evaluation

[4] DIN 30787-4:1999, Transportation loads; Measurement and analysis of dynamic-mechanical loads — Part 4: Data analysis

[5] DIN 30787-5:1999, Transportation loads; Measurement and analysis of dynamic-mechanical loads — Part 5: Derivation of test specification

[6] ASTM D4728:1995, ASTM Standard D4728-95: Standard test method for random vibration testing of shipping containers

[7] IES-RP-DET 012.1, Institute of Environmental Sciences and Technologies, IES Recommended Practice 012.1 — Handbook for dynamic data acquisition and analysis

[8] Randall, R.B., and Tech, B. Frequency analysis, 3rd Edition, Bruel and Kjær, September 1979

УДК 534.1:006.354

ОКС 19.040
29.020

Ключевые слова: испытания на вибрацию, методы испытаний, гармоническая вибрация, случайная вибрация, комбинированная вибрация

Редактор *Л.Б. Базякина*
Технический редактор *В.Ю. Фотиева*
Корректор *О.В. Лазарева*
Компьютерная верстка *Л.А. Круговой*

Сдано в набор 15.02.2016. Подписано в печать 24.02.2016. Формат 60 × 84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 2,32. Уч.-изд. л. 1,80. Тираж 43 экз. Зак. 652.

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

gost.e-ecolog.ru