ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 54434— 2011 (ЕН 61373:1999)

ОБОРУДОВАНИЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Испытания на удар и вибрацию

EN 61373:1999
Railway applications —
Rolling stock equipment — Shok and vibration tests
(MOD)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2012

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

Цели и принципы стандартизации в Российской Федерации установлены 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 и конструкторско-технологический институт подвижного состава» (ОАО «ВНИКТИ»)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 45 «Железнодорожный транспорт»

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 11 октября 2011 г. № 438-ст

4 Настоящий стандарт является модифицированным по отношению к европейскому региональному стандарту ЕН 61373:1999 «Железнодорожный транспорт. Оборудование подвижного состава. Испытания на удар и вибрацию» (EN 61373:1999 «Railway applications — Rolling stock equipment — Stock and vibration tests) путем изменения его структуры и отдельных фраз (слов, значений показателей), которые выделены в тексте курсивом, введения дополнительных разделов и приложения.

При этом разделы 1, 2, 3, 5, 6, 7, 9, 10 дополняют разделы и приложения настоящего стандарта с учетом потребностей национальной экономики и особенностей национальной стандартизации.

Сравнение структуры настоящего стандарта со структурой указанного европейского регионального стандарта приведено в дополнительном приложении ДА.

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

5 В настоящем стандарте полностью реализованы требования технических регламентов «О безопасности железнодорожного подвижного состава», «О безопасности высокоскоростного железнодорожного транспорта» применительно к объектам технического регулирования — оборудованию железнодорожного подвижного состава. Настоящий стандарт устанавливает методы проверки минимально необходимых требований безопасности оборудования железнодорожного подвижного состава (за исключением пункта 4.2 и приложений А, В, С, ДА)

6 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, 2012

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, определения и сокращения 2
4 Общие положения 2
5 Подготовка к испытаниям 4
6 Порядок проведения испытаний 4
7 Испытания на воздействие случайной вибрации и удара 5
8 *Испытания на воздействие синусоидальной вибрации и удара* 18
9 Оценка результатов испытаний 27
10 Оформление результатов испытаний 28
Приложение А (справочное) *Дополнительные сведения* по измерениям в эксплуатации, точкам измерения, методам регистрации эксплуатационных данных и методу получения *испытательных* уровней *вибрации* при испытаниях на воздействие случайной вибрации на основании *результатов* измерений в эксплуатации 30
Приложение В (справочное) *Определение* расчетных уровней *вибрации* оборудования, *соответствующих* условиям испытаний при воздействии случайной вибрации 35
Приложение С (справочное) Общее расположение оборудования на железнодорожном подвижном составе и соответствующие категории при испытаниях 39
Приложение ДА (обязательное) Сопоставление структуры настоящего стандарта со структурой примененного в нем европейского регионального стандарта 40

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ОБОРУДОВАНИЕ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Испытания на удар и вибрацию

Rolling stock equipment. Shock and vibration tests

Дата введения — 2012—03—01

1 Область применения

Настоящий стандарт распространяется на оборудование всех видов, в том числе механическое, пневматическое, электрическое и электронное, применяемое на железнодорожном подвижном составе (далее — оборудование).

Стандарт устанавливает *методы испытаний на воздействие вибрации и удара (испытания на стойкость (устойчивость и/или прочность) к механическим внешним воздействующим факторам (далее — механические ВВФ)).*

Стандарт устанавливает методы испытаний на соответствие требованиям, установленным ГОСТ 17516.1 (таблица 1, группы механического исполнения М25, М26, М27), ГОСТ 30631 (приложение Б, таблица Б.1, группы механического исполнения М25, М26, М27), ГОСТ 2582 (подпункт 2.2.1).

Виды испытаний на воздействие вибрации и удара (испытаний на стойкость (устойчивость и/или прочность) к механическим ВВФ)) — по ГОСТ 16504.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

ГОСТ Р 51371—99 Методы испытаний на стойкость к механическим внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Испытания на воздействие ударов

ГОСТ 20.57.406—81 Комплексная система контроля качества. Изделия электронной техники, квантовой электроники и электротехнические. Методы испытаний

ГОСТ 2582—81 Машины электрические вращающиеся тяговые. Общие технические условия

ГОСТ 9219—88 Аппараты электрические тяговые. Общие технические требования

ГОСТ 16962.2—90 Изделия электротехнические. Методы испытаний на стойкость к механическим внешним воздействующим факторам

ГОСТ 17168-82 Фильтры электронные октавные и третьоктавные. Общие технические требования и методы испытаний

ГОСТ 17516.1—90 Изделия электротехнические. Общие требования в части стойкости к механическим внешним воздействующим факторам

ГОСТ 24346—80 Вибрация. Термины и определения

ГОСТ 26883—86 Внешние воздействующие факторы. Термины и определения

Издание официальное

ГОСТ 28203—89 (МЭК 68-2-6—82) Основные методы испытаний на воздействие внешних факторов. Часть 2. Испытания. Испытание Fc и руководство: вибрация (синусоидальная)

ГОСТ 28213 (МЭК 68-2-27—87) Основные методы испытаний на воздействие внешних факторов. Часть 2. Испытания. Испытание Ea и руководство: Одиночный удар

ГОСТ 28215—89 (МЭК 68-2-29—87) Основные методы испытаний на воздействие внешних факторов. Часть 2. Испытания. Испытание Eb и руководство: Многократные удары

ГОСТ 28231–89 (МЭК 68-2-47—82) Основные методы испытаний на воздействие внешних факторов. Часть 2. Испытания. Крепление элементов, аппаратуры и других изделий в процессе динамических испытаний, включая удар (Ea), многократные удары (Eb), вибрацию (Fc и Fd), линейное ускорение (Ga) и руководство

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

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

ГОСТ 30630.1.2—99 Методы испытаний на стойкость к механическим внешним воздействующим факторам машин, приборов и других технических изделий. Испытания на воздействие вибрации

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

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

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, применяются в части, не затрагивающей эту ссылку.

3 Термины, определения и сокращения

3.1 *В настоящем стандарте применены термины по ГОСТ 20.57.406, ГОСТ 24346, ГОСТ 26883, ГОСТ 28203, ГОСТ 28215, ГОСТ 30630.1.9, ГОСТ 30631.*

3.2 В настоящем стандарте применены следующие сокращения:

ВВФ — внешние воздействующие факторы;

ТУ — технические условия;

ПИ — программа испытаний;

НД — нормативный документ;

СПМ — спектральная плотность мощности;

СКЗ — среднее квадратическое значение;

АЧХ — амплитудно-частотная характеристика;

КМБ — колесно-моторный блок;

МВПС — моторвагонный подвижной состав;

СПС — специальный подвижной состав;

МСЖД — международный союз железных дорог

4 Общие положения

4.1 Оборудование железнодорожного подвижного состава для проверки *соответствия требованиям по стойкости (устойчивости и/или прочности) к механическим ВВФ* подвергают испытаниям установленной продолжительности, моделирующим условия эксплуатации за весь предполагаемый срок службы *(испытания на вибропрочность)*.

Испытания *на вибропрочность*, моделирующие срок службы, проводят следующими наиболее общими методами:

- усиления: увеличение уровней вибрации и уменьшение временной базы;
- временного сжатия: сохранение развития уровней вибрации во времени и уменьшение временной базы;
- прореживания: удаление периодов времени при уровнях вибрации ниже установленного порогового значения*.

Испытания при воздействии случайной вибрации и удара проводят по настоящему стандарту методом усиления в соответствии с *ГОСТ 28213, ГОСТ 28231, ГОСТ 30630.1.9.*

Испытания при воздействии синусоидальной вибрации и ударов проводят по настоящему стандарту методами, соответствующими методу временного сжатия, в соответствии с ГОСТ Р 51371, ГОСТ 20.57.406, ГОСТ 16962.2, ГОСТ 28203, ГОСТ 28215, ГОСТ 28231, ГОСТ 30630.0.0, ГОСТ 30630.1.1, ГОСТ 30630.1.2.

При наличии эксплуатационных данных соответствие требованиям настоящего стандарта *в части воздействия случайной вибрации* проверяют в соответствии с приложением А.

Методы определения расчетных уровней вибрации при проектировании оборудования, соответствующего требованиям настоящего стандарта, приведены в приложении В.

Испытания проводят:

- при воздействии случайной вибрации по одной координатной оси (испытания при многокоординатном воздействии случайной вибрации выходят за область применения настоящего стандарта);
- *при одновременном или последовательном воздействии синусоидальной вибрации по трем взаимно перпендикулярным направлениям.*

При наличии требований по прочности и/или устойчивости к воздействию случайной вибрации оборудование, имеющее не менее четырех резонансов в рабочем диапазоне частот, испытывают на воздействие случайной вибрации; оборудование, имеющее менее четырех резонансов в рабочем диапазоне частот, испытывают на воздействие синусоидальной вибрации.

Испытания оборудования при воздействии случайной вибрации разделяют на категории в зависимости от размещения оборудования на железнодорожном подвижном составе. Категории испытаний оборудования на воздействие случайной вибрации, в зависимости от размещения на железнодорожном подвижном составе, приведены в таблице 1 и представлены в приложении С.

Таблица 1 — Категории испытаний оборудования на железнодорожном подвижном составе

Категория испытаний	Область распространения категорий испытаний
Категория 1 Класс А Класс Б	Оборудование, установленное в кузове Ящики (шкафы), сборочные узлы, оборудование и элементы, устанавливаемые непосредственно в кузове (*на кузове*) или под кузовом Прочее оборудование, устанавливаемое внутри монтажного ящика (шкафа), который, в свою очередь, непосредственно установлен в *кузове (на кузове)* или под кузовом
Категория 2	Оборудование, установленное на тележке: ящики, сборочные узлы, оборудование и элементы
Категория 3	Оборудование, установленное на оси колесной пары: сборочные узлы, оборудование и элементы, которые устанавливают на собранной колесной паре
Примечания 1 Класс Б применяют тогда, когда размещение оборудования не определено. 2 На подвижном составе с одной ступенью подвешивания, например грузовой вагон, устанавливаемое на оси колесной пары, оборудование испытывают по категории 3, а все остальное оборудование — по категории 2, *если не оговорено иное.*	

Соответствие категорий испытаний и групп механического исполнения приведено в таблице 2.

* *В настоящем стандарте данный метод не рассматривается.*

Таблица 2 — Соответствие категорий оборудования и групп механического исполнения оборудования

Категория испытаний	*Группа механического исполнения*	*Область распространения групп механического исполнения*
1	*М25*	*В кузовах (на кузовах) и под кузовами локомотивов, МВПС, СПС, вагонов грузовых и пассажирских локомотивной тяги (в том числе промышленного транспорта)*
2	*М26*	*На тележках локомотивов, МВПС, СПС, вагонов грузовых и пассажирских локомотивной тяги (в том числе промышленного транспорта) для подрессоренного оборудования*
3	*М27*	*На тележках локомотивов, МВПС, СПС, вагонов грузовых и пассажирских локомотивной тяги (в том числе промышленного транспорта) для неподрессоренного оборудования*

4.2 По заявке заказчика проводят дополнительные или специальные вибрационные испытания оборудования *на воздействие случайной вибрации, в том числе*:

- оборудования, устанавливаемого или соединяемого с оборудованием, которое создает возбуждение с фиксированной частотой;
- тяговых электродвигателей, пантографов, тормозных колодок, элементов подвески и механических узлов, предназначенных для передачи усилий и/или крутящего момента, на которые распространяются специальные требования на их применение на железнодорожном подвижном составе;
- оборудования, предназначенного для использования в специальных рабочих условиях, устанавливаемых заказчиком.

4.3 Число единиц оборудования в выборке для испытаний на воздействие вибрации и удара (испытаний на стойкость к механическим ВВФ) — одна единица оборудования, если иное не установлено в стандартах и ТУ на оборудование.

5 Подготовка к испытаниям

Процедура подготовки к испытаниям оборудования, применяемого на железнодорожном подвижном составе, и последовательность проведения испытаний должны соответствовать требованиям:

- *электротехническое оборудование (машины электрические вращающиеся тяговые, аппараты электрические тяговые, преобразователи) — ГОСТ 20.57.406, ГОСТ 16962.2;*
- *прочие машины, приборы и другие технические изделия — ГОСТ 30630.0.0.*

6 Порядок проведения испытаний

6.1 Порядок проведения испытаний должен соответствовать требованиям:

- *электротехнического оборудования (машин электрических вращающихся тяговых, аппаратов электрических тяговых, преобразователей) — ГОСТ 20.57.406, ГОСТ 16962.2;*
- *прочих машин, приборов и других технических изделий — ГОСТ 30630.0.0.*

6.2 Испытания включают в себя мероприятия, проводимые последовательно:

- *начальные проверки и начальные измерения;*
- *выдержку;*
- *заключительные проверки и заключительные измерения.*

6.3 Оборудование испытывают при воздействии механических ВВФ одновременно или последовательно по трем взаимно перпендикулярным направлениям.

6.4 Параметры испытательного режима при испытаниях на воздействие механических ВВФ устанавливают по показаниям рабочих средств измерений в контрольной точке.

При испытаниях контрольную точку выбирают в одном из следующих мест:

- *на платформе стенда рядом с одной из точек крепления оборудования, если испытуемое оборудование закреплено непосредственно на платформе;*

- на крепежном приспособлении, если испытуемое оборудование закреплено на приспособлении;

- рядом с точкой крепления виброизолятора, если испытуемое оборудование закреплено на виброизоляторах.

Допускается выбирать контрольную точку на платформе стенда, если средства крепления обеспечивают передачу механических воздействий от платформы стенда к крепежному приспособлению с минимальными искажениями, при этом отклонение ускорения на крепежном приспособлении в месте его крепления не должно превышать ± 25 % ускорения в контрольной точке. Также допускается по согласованию с заказчиком выбирать контрольную точку непосредственно на оборудовании при условии, что масса оборудования не менее чем в 10 раз превышает массу измерительного преобразователя и жесткость оборудования обеспечивает контроль с установленной точностью параметров воздействия.

При испытаниях на воздействие вибрации крупногабаритного оборудования (любой из габаритных размеров не менее 300 мм) рекомендуется за ускорение в контрольной точке принимать среднеарифметическое значение показаний нескольких измерительных вибропреобразователей (вибродатчиков), установленных на виброплатформе стенда или на приспособлении рядом с точками крепления оборудования (проверочные точки).

Расположение контрольной точки указывают в стандартах и ТУ на оборудование, ПИ и НД на крепежное приспособление.

6.5 При испытаниях электрических вращающихся тяговых машин массой свыше 500 кг (генераторов и агрегатов тяговых, тяговых электродвигателей, вспомогательных электрических машин) допускается выбирать контрольную точку непосредственно на электрической тяговой машине над осью вращения в срединной плоскости, учитывая конечную жесткость крепежного приспособления и наличие резонансных частот в частотном диапазоне испытаний, связанных с конструкцией крепежного приспособления.

6.6 Испытания оборудования на воздействие вибрации и удара проводят в следующей последовательности.

- испытуемое оборудование устанавливают и закрепляют на испытательном стенде аналогично схеме его установки и закрепления в эксплуатации;

- устанавливают вибропреобразователи (вибродатчики) на испытуемое оборудование с учетом возможных собственных и вынужденных форм колебаний оборудования при внешнем механическом воздействии;

- определяют собственную вибрацию электрических вращающихся тяговых машин без подачи внешней вибрации;

- настраивают испытательное оборудование на требуемый режим(ы) вибрационного нагружения и определяют формы колебаний и частотный спектр вибрации испытуемого оборудования, закрепленного на крепежном приспособлении на виброплатформе вибрационного стенда;

- определяют резонансные частоты оборудования и его составных частей, узлов, деталей;

- проводят испытание на виброустойчивость;

- проводят испытание на вибропрочность при нормативном режиме вибрационного нагружения;

- проводят испытание на ударную прочность;

- проводят испытание на воздействие одиночных ударов;

- выполняют заключительные проверки и измерения для испытуемого оборудования, включая проверку сопротивления изоляции электрооборудования и проверку собственной вибрации электрических вращающихся тяговых машин.

7 Испытания на воздействие случайной вибрации и удара

7.1 Общие положения

Настоящие испытания предназначены для выявления *конструктивных и технологических недостатков* оборудования, которые могут привести к повреждениям при воздействии вибрации и ударов в эксплуатации на железнодорожном подвижном составе.

Настоящие испытания не распространяются на электрические вращающиеся тяговые машины железнодорожного подвижного состава.

Испытания не предназначены для определения срока службы (*ресурса*) оборудования. Тем не менее, условия проведения испытаний являются достаточными для обеспечения приемлемой степени достоверности того, что оборудование отработает установленный срок службы в условиях эксплуатации.

Оборудование считают соответствующим требованиям настоящего стандарта *в части стойкости к воздействию случайной вибрации и удара, если* в результате испытаний не возникает механических повреждений или ухудшения рабочих характеристик.

Условия испытаний на воздействие случайной вибрации, установленные в данном *разделе* стандарта, разработаны на основании опытных данных (см. приложение А) по уровням вибрации, полученным в эксплуатационных условиях.

Испытания на воздействие случайной вибрации и удара включают в себя:

- испытания на виброустойчивость;
- испытания на вибропрочность;
- испытания на удар.

Испытания на виброустойчивость при воздействии случайной вибрации проводят для подтверждения способности испытуемого оборудования функционировать в условиях, соответствующих условиям эксплуатации на железнодорожном подвижном составе. Объем функционирования *оборудования* согласовывают между изготовителем и конечным потребителем перед началом испытаний (см. 7.3.3.2). Условия испытаний на виброустойчивость при воздействии случайной вибрации — в соответствии с 7.5. Испытания на виброустойчивость при воздействии случайной вибрации не предназначены для всесторонней оценки характеристик оборудования в условиях, соответствующих эксплуатационным.

Испытания на вибропрочность при воздействии случайной вибрации проводят для определения механической прочности оборудования при повышенных *относительно эксплуатационных* уровнях *вибрационных* нагрузок. При этом функционирование оборудования не проверяют. Условия испытаний на вибропрочность при воздействии случайной вибрации — в соответствии с 7.6.

Испытания на удар (*испытания на воздействие ударов одиночного действия*) проводят для воспроизведения редких эксплуатационных нагрузок. При этом функционирование оборудования не проверяют. *После испытаний на удар (на воздействие ударов одиночного действия)* проверяют *надежность фиксации подвижных элементов испытуемого оборудования, отсутствие ложных самопроизвольных срабатываний автоматических устройств и другие изменения технического состояния испытуемого оборудования*, а также отсутствие механических перемещений или повреждений его конструкции и отражают в отчете об испытаниях *(протоколе испытаний)*.

7.2 *Последовательность* проведения испытаний

Устанавливают следующую последовательность проведения испытаний:

- испытания на виброустойчивость при воздействии случайной вибрации в вертикальном, поперечном и продольном направлениях.
- испытания на вибропрочность при повышенных уровнях случайной вибрации в вертикальном, поперечном и продольном направлениях;
- испытания на воздействие ударов в вертикальном, поперечном и продольном направлениях.

Последовательность проведения испытаний может быть изменена с целью сведения к минимуму числа переустановок оборудования на стендах.

Проверку рабочих показателей оборудования проводят до и после *испытаний на вибропрочность*.

Последовательность проведения испытаний, положение оборудования при испытании и направление воздействия вибрации отражают в отчете об испытаниях *(протоколе испытаний)*.

7.3 *Порядок проведения испытаний*

7.3.1 *Установка* испытуемого оборудования на стенде и положение оборудования при испытаниях

Общие положения по установке испытуемого оборудования на испытательных стендах — по ГОСТ 28231.

Испытуемое оборудование *устанавливают на стенде* непосредственно на виброплатформе или на *крепежном* приспособлении *в эксплуатационном (рабочем) положении и* механически закрепляют штатным способом крепления, включая упругое крепление.

Способ установки *и закрепления испытуемого оборудования на стенде* приводят в отчете об испытании *(протоколе испытаний)*.

Если не оговорено иное, испытание оборудования проводят в его штатном рабочем положении без специальных мер защиты от воздействия магнитного поля, нагрева или иных факторов, влияющих на его функционирование и эксплуатационные показатели.

Крепежное приспособление не должно создавать резонансных колебаний оборудования в рабочем диапазоне частот *испытаний*. При наличии резонансных колебаний *их показатели определяют и отражают в отчете об испытаниях (протоколе испытаний)*.

7.3.2 Проверочная и контрольная точки

Условия испытаний контролируют путем измерения вибрации в *контрольной* точке. *В определенных случаях* условия испытаний контролируют в проверочных точках, соотнесенных с точками крепления испытуемого оборудования.

При испытании используют одну или несколько проверочных точек. Если имеются не более четырех точек крепления, то каждая точка крепления может быть использована как проверочная. Если число точек крепления более четырех, наиболее характерные из них четыре точки должны быть указаны в НД, и они могут быть использованы как проверочные точки.

Проверочные точки указывают в соответствующем НД, если они не расположены вблизи точек крепления испытуемого оборудования.

При *испытании нескольких единиц* испытуемого оборудования, установленных на одном *крепежном* приспособлении, проверочную(ые) и/или контрольную точки соотносят с *крепежным* приспособлением, а не с точками крепления испытуемого оборудования, при условии, что самые низшие резонансные частоты испытуемого оборудования, установленного на *крепежном* приспособлении, расположены выше верхней частоты испытаний.

При испытании оборудования, имеющего несколько точек крепления, для получения контрольного сигнала может быть выбрана одна проверочная точка, являющаяся контрольной, которую соотносят с крепежным приспособлением, а не с точками крепления испытуемого оборудования, при условии, что низшая резонансная частота испытуемого оборудования расположена выше верхней частоты испытаний.

7.3.2.1 Точка крепления

Точка крепления при испытаниях является частью испытуемого оборудования в зоне контакта с *крепежным* приспособлением или поверхностью вибростола, которую используют для штатного крепления оборудования в эксплуатации. Если для закрепления используют часть сборочной конструкции, за точки крепления принимают точки сборочной конструкции, а не испытуемого оборудования.

7.3.2.2 Проверочная точка

Проверочная точка, как правило, представляет собой точку крепления. Она должна быть расположена как можно ближе к точке крепления и жестко связана с ней. При наличии не более четырех точек крепления каждая из них является проверочной. Вибрация в этих точках должна быть не ниже установленных минимальных предельных значений. В отчете об испытаниях *(протоколе испытаний)* указывают количество использованных проверочных точек и их расположение.

7.3.2.3 Контрольная точка

Контрольная точка — это одна точка, сигнал от которой используют для управления режимом испытаний в соответствии с условиями испытаний. Контрольную точку используют для представления колебаний испытуемого оборудования. Она может быть проверочной или фиктивной, создаваемой при ручной или автоматической обработке сигналов от проверочных точек.

Для случайной вибрации при использовании фиктивной точки спектр рабочего сигнала определяют как среднее арифметическое значений СПМ ускорений при каждой частоте сигналов от всех проверочных точек. Общее СКЗ измеряемой величины w_a, м/с^2, в контрольной точке w_i вычисляют по формуле

$$w_a = \sqrt{\frac{\sum_{i-1}^{i=n_c} w_i^2}{n_c}}, \qquad (1)$$

где w_i — СКЗ сигнала в i-й проверочной точке, м/с^2;

n_c — число проверочных точек.

Примечание — Для контроля общего СКЗ ускорения при расчете фиктивной точки допускается автоматическая обработка сигналов от проверочных точек методом *последовательного опроса*. Это не допускается для контроля уровня СПМ без корректировки на такие источники погрешностей, как АЧХ анализатора, интервал выборки и прочее.

7.3.2.4 Измерительная точка

Определяемая перед началом испытаний по 7.4 *измерительная* точка — это место на испытуемом оборудовании, в котором получают данные для исследования его вибрационных характеристик при испытаниях.

7.3.3 *Техническое* состояние и функционирование оборудования во время испытаний

7.3.3.1 При наличии более одного режима работы, в котором испытуемое оборудование может работать длительный период времени, для испытания выбирают два технических состояния, из которых одно должно быть функционально наиболее опасным (например, техническое состояние контактора, при котором допускается наименьшее давление нажатия).

Испытуемое оборудование должно находиться одинаковое время в этих состояниях при проведении испытаний на виброустойчивость при воздействии случайной вибрации и ударов, режимы которых установлены в 7.5 и 7.7 соответственно.

7.3.3.2 Проверка функционирования

При необходимости *состав и содержание проверок* оборудования определяет изготовитель по согласованию с заказчиком. Проверку функционирования проводят при вибрационных испытаниях на испытательных уровнях *(СКЗ виброускорений и диапазон частот)*, установленных в 7.5.

Примечания

1 Проверку функционирования при воздействии ударов не проводят без предварительного соглашения об их проведении между изготовителем и заказчиком.

2 Изменения в порядке проведения проверки функционирования отражают в отчете *(протоколе испытаний)*.

7.3.3.3 Рабочие характеристики оборудования проверяют в соответствии с ТУ перед началом и после окончания всех испытаний на воздействие случайной вибрации и удара.

7.3.4 Воспроизводимость испытаний на воздействие случайной вибрации

7.3.4.1 Допуски показателей сигналов случайной вибрации для воспроизводимости условий испытаний при их повторении другой испытательной *лабораторией (центром)* или на другом испытательном оборудовании приведены в 7.3.4.2, 7.3.4.3.

Границы допусков включают погрешности приборов и исключают другие погрешности, в частности случайные (статистические) и систематические погрешности. Измерения проводят в контрольных или проверочных точках.

7.3.4.2 Спектральная плотность мощности

СПМ должна быть в пределах ± 3 дБ (диапазон от 0,5СПМ до 2СПМ) от установленных уровней СПМ *в соответствии с рисунками 1—4*. Наклоны начальной и конечной ветвей должны быть не менее установленных на рисунках 1—4.

7.3.4.3 Среднее квадратическое значение

СКЗ ускорения в контрольной точке в установленном диапазоне частот должно соответствовать установленному на рисунках 1—4 значению при допуске ±10 %.

Примечание — В случае, если в спектральный состав входят низкие частоты и трудно получить допуск ± 3 дБ, в отчете указывают полученное при испытании значение.

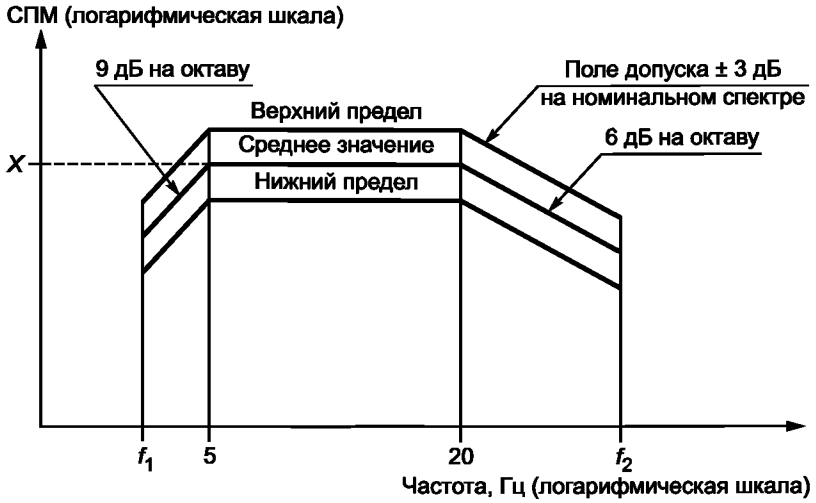
7.3.4.4 Плотность распределения вероятности

Для каждой измерительной точки изменение во времени измеряемого(ых) ускорения(ий) должно иметь распределение вероятности, близкое к гауссову, и пик-фактор (отношение пикового значения амплитуды к СКЗ) не менее 2,5.

Примечание — На рисунке 5 показаны поля допусков интегральной плотности распределения вероятности.

7.3.4.5 Продолжительность воздействия

Общая продолжительность воздействия случайной вибрации по каждому направлению должна быть не менее установленной.



При массе ≤ 500 кг: f_1 = 5 Гц, f_2 = 150 Гц.

При массе > 500 кг ≤ 1250 кг: $f_1 = \frac{1250}{масса}$ 2 Гц; $f_2 = \frac{1250}{масса}$ 60 Гц.

При массе > 1250 кг: f_1 = 2 Гц, f_2 = 60 Гц.

Показатель вибрации	Направление воздействия вибрации		
	вертикальное	поперечное	продольное
Испытания на виброустойчивость			
Уровень СПМ, $(м/с^2)^2/Гц$	0,0164	0,0041	0,0073
Значение СКЗ, $м/с^2$ (на частотах 5 — 150 Гц)	0,75	0,37	0,50
Испытания на вибропрочность			
Уровень СПМ, $(м/с^2)^2$ /Гц	1,034	0,250	0,452
Значение СКЗ, $м/с^2$ (на частотах 5—150 Гц)	5,9	2,9	3,9

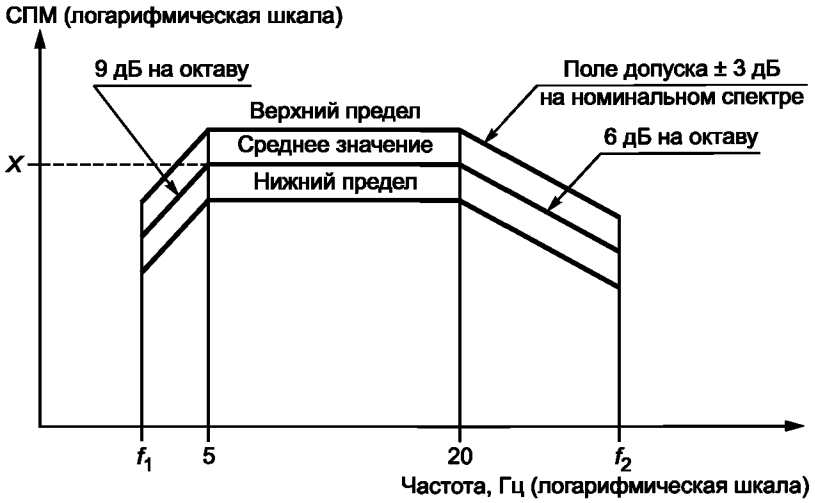
Примечания

1 У оборудования с частотой испытаний менее 5 Гц СКЗ будут больше вышеуказанных.

2 У оборудования с частотой испытаний менее 150 Гц СКЗ будут ниже вышеуказанных.

3 Могут быть включены частоты, превышающие f_2, если известно, что они существуют, при этом уровень устанавливают путем продления наклонной линии на 6 дБ на октаву до пересечения с требуемой максимальной частотой. В таких случаях СКЗ возрастут.

Рисунок 1 — График СПМ при испытаниях оборудования категории 1, класса А, устанавливаемого в кузове, *при воздействии случайной вибрации*



При массе ≤ 500 кг: f_1 = 5 Гц, f_2 = 150 Гц.

При массе > 500 кг ≤ 1250 кг: $f_1 = \frac{1250}{масса}$ 2 Гц; $f_2 = \frac{1250}{масса}$ 60 Гц.

При массе > 1250 кг: f_1 = 2 Гц, f_2 = 60 Гц.

Показатель вибрации	Направление воздействия вибрации		
	вертикальное	поперечное	продольное
Испытания на виброустойчивость			
Уровень СПМ, $(м/с^2)^2/Гц$	0,0298	0,0060	0,0144
Значение СКЗ, $м/с^2$ (на частотах 5—150 Гц)	1,00	0,45	0,70
Испытания на вибропрочность			
Уровень СПМ, $(м/с^2)^2/Гц$	1,857	0,366	0,901
Значение СКЗ, $м/с^2$ (на частотах 5—150 Гц)	7,9	3,5	5,5

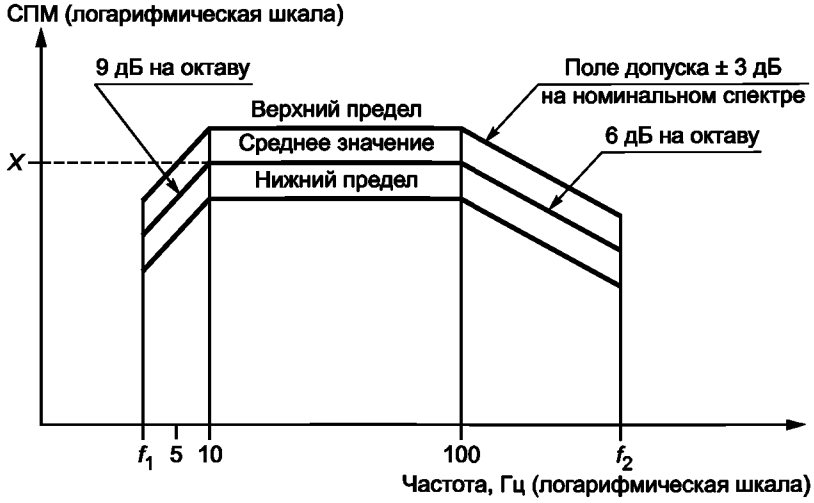
Примечания

1 У оборудования с частотой испытаний менее 5 Гц СКЗ будут больше вышеуказанных.

2 У оборудования с частотой испытаний менее 150 Гц СКЗ будут ниже вышеуказанных.

3 Могут быть включены частоты, превышающие f_2, если известно, что они существуют, при этом уровень устанавливают путем продления наклонной линии на 6 дБ на октаву до пересечения с требуемой максимальной частотой. В таких случаях СКЗ возрастут.

Рисунок 2 — График СПМ при испытаниях оборудования категории 1, класса Б, устанавливаемого в кузове, *при воздействии случайной вибрации*



При массе ≤ 100 кг: f_1 = 5 Гц, f_2 = 250 Гц.

При массе > 100 кг ≤ 250 кг: $f_1 = \frac{250}{масса}$ 2 Гц; $f_2 = \frac{250}{масса}$ 100 Гц.

При массе >250 кг: f_1 = 2 Гц, f_2 = 100 Гц.

Показатель вибрации	Направление воздействия вибрации		
	вертикальное	поперечное	продольное
Испытания на виброустойчивость			
Уровень СПМ, $(м/с^2)^2$ /Гц	0,190	0,144	0,0414
Значение СКЗ, $м/с^2$ (на частотах 5—250 Гц)	5,4	4,7	2,5
Испытания на вибропрочность			
Уровень СПМ, $(м/с^2)^2$/Гц	11,83	8,96	2,62
Значение СКЗ, $м/с^2$ (на частотах 5—250 Гц)	42,5	37,0	20,00

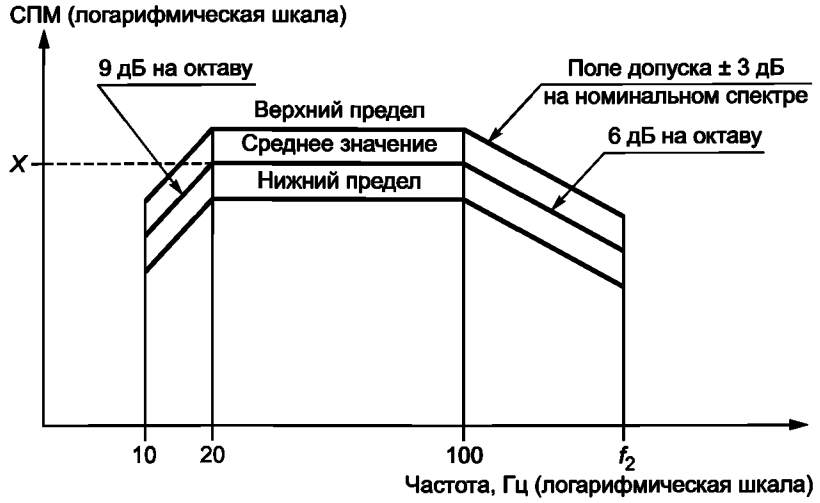
Примечания

1 У оборудования с частотой испытаний менее 5 Гц СКЗ будут больше вышеуказанных.

2 У оборудования с частотой испытаний менее 250 Гц СКЗ будут ниже вышеуказанных.

3 Могут быть включены частоты, превышающие f_2, если известно, что они существуют, при этом уровень устанавливают путем продления наклонной линии на 6 дБ на октаву до пересечения с требуемой максимальной частотой. В таких случаях СКЗ возрастут.

Рисунок 3 — График СПМ при испытаниях оборудования категории 2, устанавливаемого на тележке *(для подрессоренного оборудования), при воздействии случайной вибрации*



При массе $\leq$ 50 кг: f_2 = 500 Гц.

При массе > 50 кг $\leq$ 125 кг: $f_2 = \frac{125}{масса}$ 200 Гц.

При массе > 125 кг: f_2 = 200 Гц.

Показатель вибрации	Направление воздействия вибрации		
	вертикальное	поперечное	продольное
Испытания на виброустойчивость Уровень СПМ, $(м/с^2)^2/Гц$ Значение СКЗ, $м/с^2$, (на частотах 5—500 Гц)	8,74 38	7,0 34	1,751 17
Испытания на вибропрочность Уровень СПМ, $(м/с^2)^2$ /Гц Уровень СКЗ, $м/с^2$, (на частотах 5—500 Гц)	545,2 300	441,2 270	110,3 135

Примечания

1 У оборудования с частотой испытаний менее 500 Гц СКЗ будут больше вышеуказанных.

2 Могут быть включены частоты, превышающие f_2, если известно, что они существуют, при этом уровень устанавливают путем продления наклонной линии на 6 дБ на октаву до пересечения с требуемой максимальной частотой. В таких случаях СКЗ возрастут.

Рисунок 4 — График СПМ при испытаниях оборудования категории 3, устанавливаемого на оси колесной пары *(на тележке для неподрессоренного оборудования), при воздействии случайной вибрации*

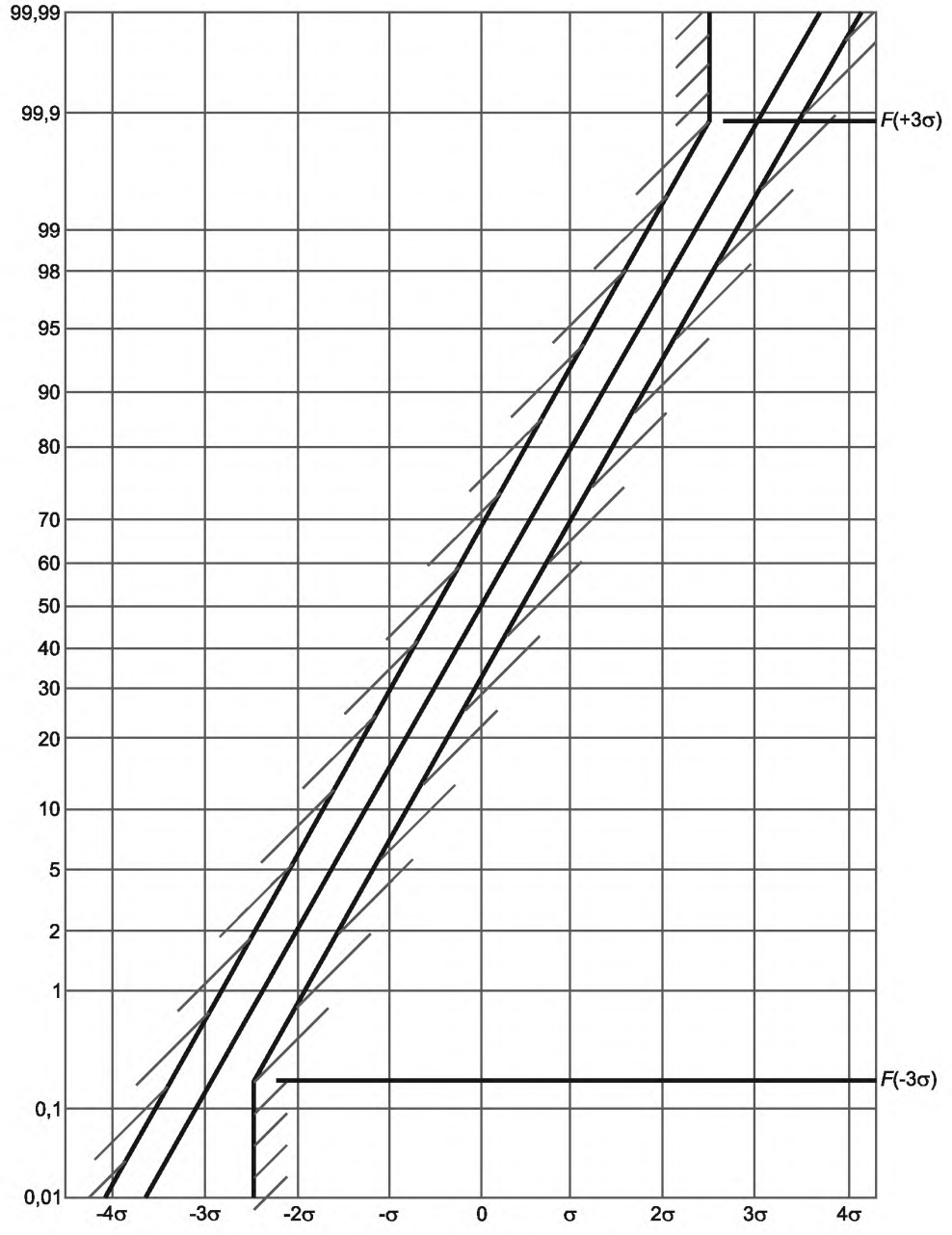


Рисунок 5 — Поля допуска для интегральной плотности распределения вероятности

7.3.5 Погрешность измерения

Погрешность измерения вибрации должна соответствовать *ГОСТ 30630.1.9, подраздел 7.3.*

7.3.6 Воспроизведение начальных условий испытания

Перед измерениями на заключительном этапе испытаний испытуемое оборудование следует выдерживать некоторое время для достижения им исходного состояния, которое было на начальном этапе испытаний, для воспроизведения одинаковых условий.

7.4 Начальный этап измерений и подготовка к испытаниям

Перед началом испытаний определяют рабочие характеристики оборудования в соответствии с ТУ. При невозможности проведения этих проверок испытательной *лабораторией (центром)* их проводит изготовитель и представляет заключение о соответствии требованиям рабочих характеристик оборудования перед началом испытаний на вибрацию и удар, установленных в *данном* разделе.

Изготовитель определяет положения измерительных точек, которые отражают в отчете об испытаниях *(протоколе испытаний)*. На основании случайных сигналов, полученных в контрольной и измерительных точках, определенных изготовителем, рассчитывают передаточные функции. Блоки, извлеченные для проверки или ремонта, при проведении испытаний заменяют.

Передаточные функции определяют для условий проведения испытаний, которые установлены в 7.5 для оборудования категорий 2 и 3 и в 7.6 — для оборудования категории 1.

Когерентность измерения должна составлять менее 0,9. Если это не обеспечивается, при обработке данных принимают не менее 120 спектральных линий (или 240 статистических степеней свободы для линейного усреднения) с перекрытием 0 %.

7.5 Условия проведения испытаний на виброустойчивость при воздействии случайной вибрации

7.5.1 Оборудование испытывают при соответствующем СКЗ виброускорений в диапазоне частот, приведенном в таблице 3. Если не определено или неизвестно рабочее положение оборудования, испытания проводят *при воздействии вибрации* в трех направлениях при СКЗ виброускорений, установленных для вертикального направления.

7.5.2 Продолжительность испытаний на виброустойчивость при воздействии случайной вибрации должна быть не менее 10 мин и достаточна для проверки функционирования испытуемого оборудования.

7.5.3 При испытаниях на виброустойчивость при воздействии случайной вибрации проводят согласованную с заказчиком проверку функционирования в соответствии с 7.3.3.2.

7.6 *Условия* испытаний на вибропрочность при повышенных уровнях случайной вибрации

7.6.1 Если не определено рабочее положение оборудования, испытания проводят при испытательных уровнях виброускорений, *установленных* для вертикального направления в соответствии с таблицей 4, *при воздействии вибрации* во всех трех направлениях.

Таблица 3 — Жесткость условий испытаний и диапазон частот испытаний на виброустойчивость при воздействии случайной вибрации

Категория *оборудования*	Направление вибрации	СКЗ виброускорений, м/с^2	Диапазон частот (см. рисунок)
1 Класс А В кузове	Вертикальное Поперечное Продольное	0,75 0,37 0,50	1
1 Класс Б В кузове	Вертикальное Поперечное Продольное	1,00 0,45 0,70	2
2 На тележке (*для подрессоренного оборудования*)	Вертикальное Поперечное Продольное	5,4 4,7 2,5	3
3 На оси колесной пары (*на тележке для неподрессоренного оборудования*)	Вертикальное Поперечное Продольное	38 34 17	4

Примечание — Приведенные испытательные уровни *виброускорений* представляют собой типовые эксплуатационные значения (см. приложение А) и являются минимальными испытательными уровнями *виброускорений*, применяемыми к испытуемому оборудованию. Если при наличии фактических данных измерений условия испытаний на виброустойчивость являются более низкими, *испытательные уровни* могут быть повышены методом, указанным в приложении А. При этом установленные *в таблице* испытательные уровни являются минимальными для испытаний оборудования.

Таблица 4 — Жесткость условий испытаний и диапазон частот испытаний на вибропрочность при воздействии случайной вибрации

Категория *оборудования*	Направление вибрации	СКЗ виброускорений, м/с^2, при испытании продолжительностью 5 ч	Диапазон частот (см. рисунок)
1 Класс А В кузове	Вертикальное Поперечное Продольное	5,90 2,90 3,90	1
1 Класс Б В кузове	Вертикальное Поперечное Продольное	7,90 3,50 5,50	2
2 На тележке (*для подрессоренного оборудования*)	Вертикальное Поперечное Продольное	42,5 37,0 20,0	3
3 На оси колесной пары (*на тележке для неподрессоренного оборудования*)	Вертикальное Поперечное Продольное	300 270 135	4

7.6.2 Все категории оборудования подвергают ускоренным испытаниям на воздействие вибрации общей продолжительностью 15 ч в течение 5 ч в каждом из трех взаимно перпендикулярных направлений. Если в ходе испытания возникает перегрев оборудования (например, вибрация деталей из резины и т. д.), допускается приостанавливать испытания для восстановления исходного состояния оборудования.

При этом соблюдают общую 5-часовую продолжительность воздействия вибрации. Факт приостановки испытания отражают в отчете об испытании *(протоколе испытаний)*.

Примечания

1 Функционирование оборудования при проведении этого испытания необязательно.

2 Допускается по предварительному соглашению между заказчиком и исполнителем уменьшать амплитуду колебаний. При этом продолжительность испытания увеличивают методом, приведенным в приложении А. Его применение распространяется на оборудование категории 3, установленное на оси колесной пары (*на тележке для неподрессоренного оборудования)*. При применении такого метода *в отчете об испытаниях (протоколе испытаний) указывают фактические условия испытаний.*

7.7 Условия испытаний *при воздействии ударов одиночного действия*

7.7.1 Форма и допуск импульса

Испытуемое оборудование подвергают воздействию последовательности единичных полусинусоидальных импульсов номинальной длительностью *D* и с номинальным пиковым ударным ускорением *A* в соответствии с ГОСТ 28213 (см. рисунок 6).

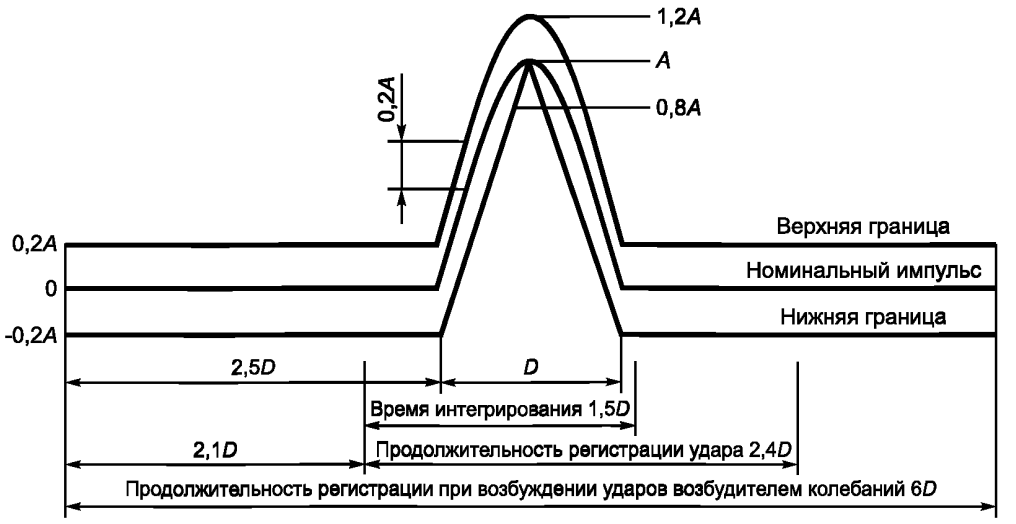
Поперечное ускорение не должно превышать 30 % пикового ускорения номинального импульса в установленном направлении в соответствии с ГОСТ 28213.

На рисунке 6 приведены форма импульса и установленные допуски.

7.7.2 Изменение скорости

Фактическое изменение скорости должно составлять ± 15 % величины, соответствующей номинальному импульсу, приведенному на рисунке 6.

Если изменение скорости определяют интегрированием фактического импульса, интегрирование выполняют за интервал времени, приведенный на рисунке 6.



Категория *оборудования*	Направление	Пиковое *ударное* ускорение *A*, м/с^2	Номинальная длительность *D*, мс
1 Классы А и Б В кузове	Вертикальное Поперечное Продольное	30 30 50	30 30 30
2 На тележке *(для подрессоренного оборудования)*	Вертикальное Поперечное Продольное	300 300 300	18 18 18
3 На оси колесной пары *(на тележке для неподрессоренного оборудования)*	Вертикальное Поперечное Продольное	1000 1000 1000	18 18 18

Примечание — Для некоторых видов оборудования специального назначения категории 1 может потребоваться проведение дополнительных испытаний на *воздействие* ударов *одиночного действия* при максимальном ускорении *A*, равном 30 м/с^2, и продолжительности *D*, равной 100 мс. В этих случаях испытательные уровни должны быть заявлены и согласованы до начала испытания.

Рисунок 6 — Поля допуска при испытании на *воздействие ударов одиночного действия*. Полусинусоидальный импульс

7.7.3 Установка испытуемого оборудования

Испытуемое оборудование устанавливают на испытательный стенд в соответствии с 7.3.1.

7.7.4 Частота следования импульсов

После приложения ударного воздействия должно быть достаточно времени для восстановления испытуемого оборудования от резонансных эффектов.

7.7.5 Жесткость условий проведения испытаний, форма и направление удара

Значения данных параметров приведены в таблице 5.

Таблица 5 — Жесткость условий испытаний на воздействие ударов одиночного действия, форма и направление ударов

Категория *оборудования*	Направление	Пиковое *ударное* ускорение *A*, м/с^2	Номинальная длительность *D*, мс
1 Классы А и Б В кузове	Вертикальное Поперечное Продольное	30 30 50	30 30 30
2 На тележке *(для подрессоренного оборудования)*	Вертикальное Поперечное Продольное	300 300 500	18 18 18
3 На оси колесной пары *(на тележке для неподрессоренного оборудования)*	Вертикальное Поперечное Продольное	1000 1000 1000	6 6 6
Примечание — *Форма импульса приведена на рисунке 6.*			

Воздействие ударов осуществляют в каждом направлении по трем взаимно перпендикулярным осям испытуемого оборудования, если в соответствующем НД не оговорены направления воздействия ударов.

В соответствующем НД может быть указано другое число направлений воздействия ударов (вследствие симметрии испытуемого оборудования, если точно известны направления воздействия ударов или основное направление воздействия ударов).

7.7.6 Количество ударов

Для каждого технического состояния по 7.3.3.1 воздействуют 18 ударами (по три положительных и три отрицательных в каждой из трех ортогональных плоскостей) в соответствии с ГОСТ 28213, *если в соответствующем НД количество ударов не оговорено*.

7.7.7 Функционирование во время испытаний

При проведении испытаний оборудование может не работать. Некоторые виды оборудования должны полностью сохранять свои рабочие характеристики; проверка их характеристик по заявке изготовителя или заказчика должна быть определена программой испытаний, если иное не оговорено в соответствующем стандарте на оборудование.

7.8 Измерения на заключительном этапе *испытаний*

После окончания испытаний определяют рабочие характеристики оборудования в соответствии с ТУ и рассчитывают передаточные функции на основании случайных сигналов, полученных в контрольной и измерительных точках. Блоки, извлеченные для проверки или ремонта, при проведении испытаний заменяют.

Передаточные функции определяют для условий испытаний, установленных в 7.5 для оборудования категорий 2 и 3 и в 7.6 — для оборудования категории 1.

Когерентность измерения должна составлять не менее 0,9. Если это не обеспечивается, при обработке данных принимают не менее 120 спектральных линий (или 240 статистических степеней свободы для линейного усреднения) с перекрытием 0 %.

Все изменения передаточных функций или *результатов* иных измерений должны быть рассмотрены и отражены в отчете об испытаниях *(протоколе испытаний)*.

7.9 Использование оборудования после испытаний

Оборудование после выполненных испытаний не подлежит дальнейшей эксплуатации.

Допускается по согласованию между изготовителем и заказчиком эксплуатировать оборудование, прошедшее испытания и отвечающее принятым критериям, после заводского ремонта у изготовителя. При этом на изготовителя возлагают ответственность за четкую идентификацию *и обслуживание* оборудования, прошедшего испытания.

8 Испытания на воздействие синусоидальной вибрации и удара

8.1 Общие положения

Общие положения испытаний — по ГОСТ 20.57.406 (пункты 1.1—1.7, 1.54, 1.61); ГОСТ 16962.2 (пункты 1.4, 1.5, 1.7); ГОСТ 30630.0.0 (пункты 4.1, 4.3—4.6, 4.10).

8.2 Общие требования к испытаниям на воздействие механических внешних воздействующих факторов

8.2.1 Общие требования к испытаниям на воздействие механических ВВФ — по настоящему стандарту, ГОСТ 20.57.406 (пункты 1.4, 1.51—1.53, подпункт 2.4.4.7); ГОСТ 16962.2 (подпункт 1.7.1.1) и ГОСТ 30630.0.0 (пункты 5.1, 5.3, 5.7—5.9).

8.2.2 Оборудование, расположенное в кузове (на кузове) и под кузовом (группа механического исполнения М25 по ГОСТ 17516.1, ГОСТ 30631), испытывают при воздействии вибрации в вертикальном направлении и при воздействии ударов одиночного действия в одном горизонтальном направлении, соответствующем направлению движения подвижного состава, если иное не установлено в стандартах и ТУ на него и ПИ.

Оборудование, расположенное на тележках (подрессоренное оборудование) (группа механического исполнения М26 по ГОСТ 17516.1, ГОСТ 30631), испытывают при воздействии вибрации в вертикальном направлении, если иное не установлено в стандартах и ТУ на него и ПИ.

Оборудование, расположенное на оси колесной пары или на тележках (неподрессоренное оборудование) (группа механического исполнения М27 ГОСТ 17516.1, ГОСТ 30631), испытывают при воздействии вибрации в вертикальном направлении и воздействии ударов многократного и одиночного действий в вертикальном направлении, если иное не установлено в стандартах и ТУ на него и ПИ.

8.2.3 При испытаниях оборудование устанавливают и закрепляют на испытательных стендах в штатном положении, аналогичном эксплуатационным условиям.

Тяговые электродвигатели с опорно-осевой подвеской испытывают в составе КМБ, включающего тяговый зубчатый редуктор и колесную пару (ось колесной пары) с приводом. КМБ устанавливают и закрепляют аналогично его положению и закреплению на раме тележки в эксплуатационных условиях.

8.3 Требования к испытаниям отдельных видов на воздействие механических внешних воздействующих факторов

Требования к испытаниям отдельных видов – по настоящему стандарту, ГОСТ 20.57.406 (пункты 1.8—1.12, 1.15, 1.46, 1.62, 1.63, 2.4.5.4), ГОСТ 16962.2 (пункты 1.9—1.13, 1.16) и ГОСТ 30630.0.0 (пункты 4.7, 6.1—6.4, 6.6, 6.7, 6.9, 6.10).

Испытание на вибропрочность электрических машин проводят при их работе на режимах, обеспечивающих рабочий нагрев обмоток в соответствии со стандартами и ТУ на электрические машины.

8.4 Методы испытаний

8.4.1 Испытание по определению динамических характеристик конструкции (испытание по определению резонансных частот конструкции) (испытание 100)

8.4.1.1 Оборудование, имеющее собственные виброизоляторы, допускается испытывать с виброизоляторами при применении метода воздействия удара для возбуждения свободных колебаний.

8.4.1.2 Резонансные частоты оборудования определяют в диапазоне частот требований, установленных по группам механического исполнения ГОСТ 2582, ГОСТ 9219, ГОСТ 17516.1, ГОСТ 30631 и в стандартах, и ТУ на него, и ПИ для испытаний данного вида.

8.4.1.3 Испытания проводят одним из следующих методов:

- 100-1 — метод плавного изменения частоты синусоидальных колебаний;

- 100-4 — метод ступенчатого изменения частоты синусоидальных колебаний (метод фиксированных частот);

- метод ударного возбуждения свободных колебаний оборудования.

8.4.1.4 Метод 100-1 — метод плавного изменения частоты синусоидальных колебаний

Испытание проводят по ГОСТ 20.57.406 (пункт 2.1, метод 100-1), ГОСТ 30630.1.1 (пункт 4.7, метод 100-1) со следующими дополнениями.

Резонансные частоты оборудования определяют на основе взаимных показателей вибрации в исследуемой точке изделия и в точке(ах) его крепления, измеренной в этих точках средствами измерения вибрации в установленном диапазоне частот при плавном изменении частоты синусоидальных колебаний внешнего механического воздействия, приложенного к оборудованию, в установленном диапазоне частот.

Резонансные частоты определяют при воздействии на оборудование внешней синусоидальной вибрации в трех взаимно перпендикулярных направлениях по отношению к оборудованию, если другие требования к выбору направления воздействия вибрации не указаны в стандартах и ТУ на него и ПИ.

При проведении испытаний определяют резонансные частоты всех основных деталей, узлов, сборочных единиц оборудования, у которых возможны резонансы в проверяемом диапазоне частот.

Поиск резонансных частот осуществляют путем плавного изменения частоты при поддержании постоянной амплитуды перемещения в контрольной точке ниже частоты перехода и постоянной амплитуды ускорения выше частоты перехода для соответствующей степени жесткости.

Амплитуду перемещения выбирают из диапазона 0,5—1,5 мм, амплитуду ускорения — из диапазона 10—15 м/с^2 (1,0—1,5 g). При этом частоту перехода $f_п$, Гц, вычисляют по формуле

$$f_п = \sqrt{\frac{25w}{A}}, \qquad (2)$$

где w — амплитуда ускорения, м/с^2;

A — амплитуда перемещения, мм.

Допускается увеличивать верхнее значение амплитуды перемещения и/или ускорения.

При испытаниях определяют амплитудно-частотные и фазочастотные характеристики оборудования, его деталей, узлов, сборочных единиц и точки (точек) крепления оборудования.

Критериями для определения резонансных частот оборудования и его частей являются:

- увеличение амплитуды вынужденных колебаний оборудования или его частей в два и более раза по сравнению с амплитудой колебаний точки (точек) его крепления;

- изменение фазы механического колебания на 90° при сравнении фаз колебаний точки крепления оборудования и точки оборудования, в которой определяют резонанс.

Необходимым условием резонанса является первый критерий.

Необходимым и достаточным условием резонанса является одновременное выполнение обоих критериев.

8.4.1.5 Метод 100-4 — метод ступенчатого изменения частоты синусоидальных колебаний (метод фиксированных частот).

Испытание проводят по ГОСТ 30630.1.1 (пункт 4.10, метод 100-4) со следующими дополнениями.

Резонансные частоты оборудования определяют на основе взаимных показателей вибрации в исследуемой точке оборудования и в точке(ах) его крепления, измеренной в этих точках средствами измерения вибрации в установленном диапазоне частот, при ступенчатом изменении частоты синусоидальных колебаний внешнего механического воздействия, приложенного к оборудованию, в заданном диапазоне частот.

Испытание проводят путем ступенчатого изменения частоты колебаний при постоянной амплитуде перемещения ниже частоты перехода и постоянной амплитуде ускорения выше частоты перехода.

Допускается значения фиксированных частот выбирать из ряда центральных или/и граничных частот третьоктавных поддиапазонов частот по ГОСТ 17168 в установленном диапазоне частот испытаний.

8.4.1.6 Метод ударного возбуждения свободных колебаний

Резонансные частоты оборудования определяют на основе взаимных показателей вибрации в исследуемой точке изделия и в точке(ах) его крепления, измеренной в этих точках средствами измерения вибрации, в установленном диапазоне частот при воздействии на оборудование импульсом механического удара.

Испытание проводят при ударном воздействии в трех взаимно перпендикулярных направлениях по отношению к оборудованию, если другие требования к выбору направления воздействия удара не указаны в стандартах и ТУ на оборудование и ПИ.

При проведении испытаний определяют резонансные частоты всех основных деталей, узлов, сборочных единиц оборудования, у которых возможны резонансы в проверяемом диапазоне частот.

Испытания проводят в диапазоне частот от 5 Гц до 1,1 $f_в$, ($f_в$ — верхняя частота диапазона частот), если другой диапазон частот испытаний не указан в стандартах и ТУ на оборудование и ПИ.

При испытании определяют собственные частоты оборудования и его деталей, узлов, сборочных единиц при нанесении неповреждающих ударов в установленных направлениях в следующих точках:

- по крепежному приспособлению в зонах крепления испытуемого оборудования;

- в зоне центра масс испытуемого оборудования;

- в зонах крепления (в доступных местах) деталей, узлов, сборочных единиц к корпусу (конструктиву) оборудования;

- непосредственно по деталям, узлам, сборочным единицам в зоне центра масс.

Собственные частоты оборудования и его частей определяют путем возбуждения и регистрации затухающих свободных колебаний при ударном воздействии на оборудование.

Для регистрации колебаний на оборудование в зоне(ах) крепления и на корпусе, а также на исследуемые детали, узлы, сборочные единицы устанавливают вибропреобразователи с ориентацией в установленных направлениях.

Выполняют не менее 10 ударов в каждом направлении с одновременной регистрацией свободных затухающих колебаний в зоне(ах) крепления оборудования и в исследуемых точках. Интервал времени между ударами должен быть достаточным для затухания свободных колебаний.

Значения собственных частот и собственные формы колебаний определяют методами спектрального анализа зарегистрированных колебаний в установленном диапазоне частот.

При испытании определяют спектры собственных частот оборудования в его рассматриваемых точках.

Оценку собственных частот как резонансных проводят методами спектрального анализа взаимных показателей собственных колебаний в исследуемой точке и в точке крепления оборудования:

- вычисляют коэффициенты усиления $K_д$ (коэффициенты динамичности) при собственных частотах в спектрах свободных колебаний по формуле

$$K_д = \frac{S_и(f)}{S_к(f)}, \qquad (3)$$

где $S_и(f)$ — измеренный в установленном частотном диапазоне амплитудный спектр мощности в данной точке оборудования;

$S_к(f)$ — измеренный в установленном частотном диапазоне амплитудный спектр мощности в месте крепления оборудования;

- определяют угол сдвига фаз свободных колебаний на данной частоте в данной точке оборудования и в месте его крепления;

- определяют функцию когерентности свободных колебаний на данной частоте в данной точке оборудования и в месте его крепления.

Критериями для определения резонансных частот оборудования и его частей по этому методу являются:

- коэффициент усиления — не менее двух;

- угол сдвига фазы механического колебания в данной точке оборудования и в точке его крепления — 90°;

- функция когерентности γ^2 — не менее 0,8.

Оборудование, имеющее собственные виброизоляторы, допускается испытывать с виброизоляторами.

8.4.1.7 При определении резонансных колебаний деталей, узлов, сборочных единиц оборудования показатели для данной части оборудования определяют не относительно места закрепления оборудования, а относительно места закрепления рассматриваемой детали, узла, сборочной единицы на корпусе оборудования.

8.4.2 Испытание на отсутствие резонансных частот конструкции в установленном диапазоне частот (испытание 101)

Испытание проводят по ГОСТ 20.57.406 (пункт 2.2, метод 101-1), ГОСТ 30630.1.1 (раздел 5, метод 101-4); по методу ударного возбуждения собственных колебаний со следующим дополнением.

Испытание проводят в диапазоне частот от 10 Гц до 1,1 $f_в$ ($f_в$ — верхняя частота диапазона частот), указанном в технических требованиях на оборудование в соответствии с ГОСТ 2582, ГОСТ 9219, ГОСТ 17516.1, ГОСТ 30631, если другой диапазон не указан в стандартах, ТУ и ПИ.

8.4.3 Испытание на виброустойчивость (испытание 102)

Испытания проводят одним из следующих методов:

102-1 — испытание на виброустойчивость при воздействии синусоидальной вибрации методом качающейся частоты;

102-3 — испытание на виброустойчивость при воздействии синусоидальной вибрации методом фиксированных частот во всем диапазоне частот требований.

8.4.3.2 Метод 102-1 — испытание на виброустойчивость при воздействии синусоидальной вибрации методом качающейся частоты

Испытание проводят по ГОСТ 20.57.406 (пункт 2.3.3, метод 102-1); ГОСТ 16962.2 (подпункт 2.1.3, метод 102-1); ГОСТ 30630.1.2 (пункт 4.3, метод 102-1) со следующими дополнениями.

Положение и закрепление оборудования при испытаниях должны соответствовать эксплуатационным условиям.

Оборудование, имеющее собственные виброизоляторы, испытывают на виброизоляторах.

Если в стандартах и ТУ на оборудование предусмотрены различные способы его крепления при эксплуатации, то его испытывают при одном способе крепления, указанном в конструкторской документации на изделие (где применяется оборудование).

Для испытания оборудования железнодорожного подвижного состава, в том числе для электротехнического оборудования, при воздействии синусоидальной вибрации устанавливают следующие степени жесткости, если иное не установлено стандартами на конкретные виды подвижного состава или оборудование:

- 10б — для оборудования, устанавливаемого в кузовах (на кузовах) и под кузовами локомотивов, МВПС, СПС, в грузовых и пассажирских вагонах локомотивной тяги (включая промышленный транспорт), в том числе для оборудования по группе механического исполнения М25 по ГОСТ 17516.1, ГОСТ 30631;

- 10.1 — для электрических вращающихся машин, устанавливаемых в кузовах и под кузовами локомотивов, МВПС, СПС, в грузовых и пассажирских вагонах локомотивной тяги (включая промышленный транспорт);

- 10.2 — для электрических тяговых аппаратов по ГОСТ 9219, устанавливаемых в кузовах (на кузовах) и под кузовами локомотивов, МВПС, СПС;

- 12 — для оборудования, устанавливаемого на тележках локомотивов, МВПС, СПС, грузовых и пассажирских вагонах локомотивной тяги (включая промышленный транспорт), для подрессоренного оборудования, в том числе для оборудования по группе механического исполнения М26 по ГОСТ 17516.1, ГОСТ 30631;

- 12а — для электрических вращающихся тяговых машин, устанавливаемых на тележках локомотивов, МВПС, СПС, для подрессоренного оборудования, в том числе для тяговых электродвигателей при опорно-рамном подвешивании;

- 13 — для оборудования, устанавливаемого на оси колесной пары или на тележках для неподрессоренного оборудования локомотивов, МВПС, СПС, грузовых и пассажирских вагонах локомотивной тяги (включая промышленный транспорт), в том числе для оборудования по группе механического исполнения М27 по ГОСТ 17516.1, ГОСТ 30631.

- 13.1 — для тяговых электродвигателей при опорно-осевом подвешивании.

Для оборудования, применяемого на железнодорожном подвижном составе, в том числе для электротехнического оборудования, диапазон частот, амплитуда перемещения, частота перехода и амплитуда ускорения при испытании на виброустойчивость приведены в таблице 6 в зависимости от степени жесткости.

Испытание проводят при воздействии вибрации в вертикальном направлении — основном и наиболее опасном виде воздействия для подвижного состава железных дорог.

Таблица 6 — Условия испытаний на виброустойчивость при воздействии синусоидальной вибрации

Степень жесткости	Диапазон частот, Гц	Амплитуда перемещения, мм	Частота перехода, Гц	Амплитуда ускорения, $м/с^2$ (g)
10б	10—100	0,5	22	10 (1,0)
12	10—100	0,5	39	30 (3,0)
13	10—100	1,5	50	150 (15)

Испытание проводят при воздействии вибрации в трех взаимно перпендикулярных направлениях по отношению к оборудованию, если это указано в стандартах, ТУ и ПИ.

8.4.3.3 Метод 102-3 — испытание на виброустойчивость при воздействии синусоидальной вибрации методом фиксированных частот во всем диапазоне частот требований

Испытание проводят по ГОСТ 16962.2 (пункт 2.1, метод 102-3); ГОСТ 30630.1.2 (пункт 4.5, метод 102-3) со следующим дополнением.

Для оборудования, применяемого на железнодорожном подвижном составе, в том числе для электротехнических изделий, диапазон частот, амплитуда перемещения, частота перехода и амплитуда ускорения при испытании на виброустойчивость приведены в таблице 6 в зависимости от степени жесткости.

8.4.4 Испытание на вибропрочность (испытание 103)

8.4.4.1 Испытание проводят одним из следующих методов:

- 103-1 — испытание методом качающейся частоты, в том числе:

1) 103-1.1 — испытание методом качающейся частоты во всем диапазоне частот требований; данный метод применяют для изделий, у которых резонансные частоты распределены по всему диапазону частот испытаний или не установлены,

2) 103-1.2 — испытание методом качающейся частоты при повышенных значениях амплитуды ускорения; испытания данным методом проводят во всех случаях, когда есть необходимость сокращения времени испытаний при сохранении диапазона частот испытаний,

3) 103-1.6 — испытание на одной фиксированной частоте изделий, у которых низшая резонансная частота более чем в 1,5 раза превышает верхнюю частоту диапазона частот требований;

- 103-2 — испытание методом фиксированных частот, в том числе:

1) 103-2.1 — испытание методом фиксированных частот во всем диапазоне частот требований; данный метод применяют по согласованию с заказчиком, если невозможно применение других методов, установленных настоящим стандартом,

2) 103-2.3 — испытание методом фиксированных частот при повышенных значениях амплитуды ускорений; данный метод применяют по согласованию с заказчиком взамен метода 103-1.2, если применение последнего невозможно;

- модифицированный метод испытаний на одной фиксированной частоте оборудования, у которого резонансные частоты находятся в диапазоне частот требований; данный метод применяют по согласованию с заказчиком, если невозможно применение других методов, установленных настоящим стандартом;

- метод испытаний на одной фиксированной частоте из диапазона частот требований; данный метод применяют по согласованию с заказчиком, если невозможно применение других методов, установленных настоящим стандартом.

Выбор метода испытаний — в зависимости от значений резонансных частот конструкции.

8.4.4.2 Метод 103-1.1 — испытание методом качающейся частоты во всем диапазоне частот требований

Испытание проводят по ГОСТ 20.57.406 (подпункт 2.4.4, метод 103-1.1); ГОСТ 16962.2 (подпункт 2.2.4, метод 103-1.1); ГОСТ 30630.1.2 (пункт 5.4, метод 103-1.1) со следующими дополнениями.

При проведении испытаний электрических вращающихся тяговых машин частота вращения и нагрев обмоток машин должны быть близки к параметрам номинального режима. Допускается обеспечивать рабочий нагрев обмоток машин за счет изменения аэродинамического сопротивления воздуху на входе в вентиляционные отверстия и люки, что отражают в отчете (протоколе испытаний).

Испытание включает в себя следующие действия, проводимые последовательно (последовательность испытаний):

- установку оборудования на вибрационный стенд с использованием крепежного приспособления или непосредственно на виброплатформу стенда в положении и закреплении, соответствующем эксплуатационному;

- начальные проверки и начальные измерения;

- отработку режима(ов) вибрационного нагружения, определение форм колебаний оборудования, установленного на крепежном приспособлении на виброплатформе стенда;

- выдержку на установленном режиме вибрационного нагружения по принятому методу испытаний;

- промежуточные проверки и промежуточные измерения в процессе испытаний с периодичностью, установленной в ПИ.

В процессе начальных, промежуточных и заключительных проверок и измерений проводят визуальный осмотр оборудования в доступных для осмотра местах и измерение параметров, указанных в стандартах, ТУ и ПИ для данного вида испытаний.

Для электротехнического оборудования для железнодорожного подвижного состава (электрических вращающихся тяговых машин, силовых преобразователей, электрических тяговых аппаратов) на всех этапах проверок проверяют соответствие электрического сопротивления изоляции обмоток и цепей относительно корпуса оборудования требованиям ТУ на оборудование, что отражают в отчете об испытаниях (протоколе испытаний).

Для оборудования подвижного состава на всех этапах проверок проверяют стабильность и соответствие усилий затяжки болтовых (резьбовых) соединений, закрепления блоков, узлов, сборочных единиц оборудования требованиям стандартов, ТУ.

Испытания электрических вращающихся тяговых машин проводят при электрической нагрузке частотой вращения, близкой к номинальной, в режиме работы без нагрузки, если иное не установлено в стандартах, ТУ и ПИ на данный вид испытания.

Испытания тяговых электродвигателей с опорно-осевой подвеской проводят в составе КМБ при номинальных электрической нагрузке и частоте вращения. Номинальный режим работы испытуемого электродвигателя обеспечивают путем его соединения с нагрузочным двигателем такого же типа, работающим в режиме генератора, и реализации режима работы с взаимной нагрузкой обоих электродвигателей или с нагрузкой нагрузочного двигателя на балластное сопротивление. Тяговый режим работы испытуемого электродвигателя при испытаниях обеспечивает реализацию режима зубцового возбуждения вибрации со стороны зубчатых зацеплений тягового редуктора.

Испытание проводят путем воздействия синусоидальной вибрации при непрерывном изменении частоты во всем диапазоне частот от нижнего значения до верхнего и обратно (цикл качания).

Зависимость времени половины цикла качания t, мин (в установленном диапазоне частот), от частоты вычисляют по формуле

$$t = K_N \ln\left(\frac{f}{f_0}\right), \qquad (4)$$

где K_N — коэффициент, равный 1,4427 мин;

f — верхняя частота диапазона, Гц;

f_0 — нижняя частота диапазона, Гц.

Полученное по формуле (4) значение продолжительности изменения частоты округляют до ближайшего значения, обеспечиваемого системой управления вибрационным стендом.

В диапазоне частот от 10 Гц до частоты перехода поддерживают постоянную амплитуду перемещения, а начиная с этой частоты до верхней частоты установленного диапазона, поддерживают постоянную амплитуду ускорения, соответствующую установленной степени жесткости.

Диапазон частот вибрации, амплитуда перемещения, частота перехода, амплитуда ускорения, расчетное число циклов качания и общая продолжительность воздействия вибрации приведены в таблице 7 в зависимости от степени жесткости испытаний.

Допускается другая закономерность изменения ускорения в зависимости от частоты при испытании.

Таблица 7 — Условия испытаний на вибропрочность при воздействии синусоидальной вибрации

Степень жесткости	Диапазон частот, Гц	Амплитуда перемещения, мм	Частота перехода, Гц	Амплитуда ускорения, м/с^2 (g)	Расчетное время цикла качания, мин	Общая продолжительность воздействия вибрации	
						Время, ч	Расчетное число циклов качания
10б	10—100	0,5	28	15 (1,5)	7	80	687
10.1[1)]	10—100	0,5	39	30 (3,0)	7	126	1082
10.2	10—100	0,5	22	10 (1,0)	7	80	687
12	10—100	0,5	39	30 (3,0)	7	180	1542
12а[1)]	10—100	0,5	50	30 (3,0)	7	260	2229
13	10—100	1,5	50	150 (15)	7	354	3033
13.1[2)]	5—700[3)]	1,5	45	120 (12)	9	460	3067

[1)] Продолжительность испытания соответствует 25 млн циклам вибрационного нагружения.
[2)] Продолжительность испытания соответствует 50 млн циклам вибрационного нагружения.
[3)] Диапазон частот нагружения 5—100 Гц.

Продолжительность испытания определяют общим временем воздействия или расчетным числом циклов качания частоты.

Для электрических вращающихся тяговых машин, предназначенных или используемых на железнодорожном подвижном составе, продолжительность испытания определена по числу циклов вибрационного нагружения, которое составляет:

- 25 млн циклов — для электрических машин (кроме тяговых электродвигателей), расположенных в кузове и под кузовом;

- 50 млн циклов — для тяговых электродвигателей при всех типах подвешивания.

При испытании допускаются перерывы, но при этом общая продолжительность воздействия вибрации должна сохраняться.

После окончания испытаний на вибропрочность проводят испытание на виброустойчивость (для изделий, проверяемых на виброустойчивость) в том же диапазоне частот, если это предусмотрено в стандартах, ТУ и ПИ.

Испытание проводят при воздействии вибрации в вертикальном направлении при общей продолжительности воздействия вибрации.

Испытание проводят при воздействии вибрации в трех взаимно перпендикулярных направлениях по отношению к изделию, если это указано в стандартах, ТУ и ПИ.

8.4.4.3 Метод 103-1.2 — испытание методом качающейся частоты при повышенных значениях амплитуды ускорения

Испытание проводят по ГОСТ 20.57.406 (подпункт 2.4.5, метод 103-1.2); ГОСТ 16962.2 (подпункт 2.2.5, метод 103-1.2); ГОСТ 30630.1.2 (пункт 5.5, метод 103-1.2).

8.4.4.4 Метод 103-1.6 — испытание на одной фиксированной частоте для изделий, низшая резонансная частота которых более чем в 1,5 раза превышает верхнюю частоту диапазона частот требований

Испытание проводят по ГОСТ 20.57.406 (подпункт 2.4.9, метод 103-1.6); ГОСТ 16962.2 (подпункт 2.2.9, метод 103-1.6); ГОСТ 30630.1.2 (пункт 5.9, метод 103-1.6).

8.4.4.5 Метод 103-2.1 — испытание методом фиксированных частот во всем диапазоне частот требований

Испытание проводят по ГОСТ 20.57.406 (подпункт 2.4.10, метод 103-2.1), ГОСТ 16962.2 (подпункт 2.2.10, метод 103-2.1); ГОСТ 30630.1.2 (пункт 5.10, метод 103-2.1).

8.4.4.6 Метод 103-2.3 — испытание методом фиксированных частот при повышенных значениях амплитуды ускорения

Испытание проводят по ГОСТ 16962.2 (подпункт 2.2.12, метод 103-2.3); ГОСТ 30630.1.2 (пункт 5.12, метод 103-2.3).

8.4.4.7 Модифицированный метод испытаний на одной фиксированной частоте оборудования, у которого резонансные частоты распределены в диапазоне частот требований

Метод предназначен для проведения испытаний оборудования на вибрационных электромагнитных стендах резонансного типа.

Испытание проводят в два этапа:

1-й этап — испытание проводят по методу 103-1.6: испытание на одной фиксированной частоте диапазона частот требований при ускорении, соответствующем установленной степени жесткости;

2-й этап — испытание проводят в третьоктавных поддиапазонах частот, включающих резонансные частоты, по методу 103-2.1.

Общую продолжительность испытания Π_{Σ} *, млн циклов вибрационного нагружения, вычисляют по формуле*

$$\Pi_{\Sigma} = \Pi_{ф} + \sum_{i=1}^{n} \Pi_{pi}, \quad (5)$$

где $\Pi_{ф}$ *— продолжительность испытания на одной фиксированной частоте по методу 103-1.6 в диапазоне частот требований при амплитуде ускорений, соответствующей установленной степени жесткости, ч или млн циклов вибрационного нагружения, вычисляемая по формуле*

$$\Pi_{ф} = \Pi_{ф0} - \sum_{i=1}^{n} \Pi_{pi}, \quad (6)$$

где $\Pi_{ф0}$ *— установленная продолжительность испытаний на одной фиксированной частоте по ГОСТ 16962.2 (подпункт 2.2.9.2, метод 103-1.6);*

Π_{pi} *— продолжительность испытания в третьоктавном поддиапазоне частот при применении метода 103-2.1, включающем i-ю резонансную частоту, млн циклов вибрационного нагружения;*

n — число резонансных частот в диапазоне частот требований.

Параметры испытаний на вибропрочность оборудования для железнодорожного подвижного состава модифицированным методом приведены в таблице 8.

Таблица 8 — Параметры испытаний на вибропрочность модифицированным методом

Степень жесткости	Диапазон частот, Гц	Амплитуда перемещения, мм	Частота перехода, Гц	Амплитуда ускорения, м/с² (g)	Продолжительность испытаний, млн циклов	
					$\Pi_{ф0}$	Π_{pi}
10б	10—100	0,5	28	15 (1,5)	10	0,91 / 0,3
10.1	10—100	0,5	39	30 (3,0)	25	2,3 / 0,76
10.2	10—100	0,5	22	10 (1,0)	10	0,91 / 0,3
12	10—100	0,5	39	30 (3,0)	30	2,72 / 0,91
12а	10—100	0,5	39	50 (5,0)	50	4,5 / 1,5
13	10—100	1,5	50	150 (15)	50	4,5 / 1,5
13.1	5—700[1)]	1,5	45	120 (12)	50	2,2 / 0,72

[1)] *Диапазон частот нагружения 5—100 Гц.*

Примечание — В числителе — при испытаниях при воздействии вибрации в одном вертикальном направлении; в знаменателе — при испытаниях при воздействии вибрации в трех взаимно перпендикулярных направлениях по отношению к оборудованию.

Вибрационный стенд должен обеспечивать получение в контрольной точке синусоидальной вибрации с установленными параметрами для установленной степени жесткости.

8.4.4.8 Метод испытаний на одной фиксированной частоте из диапазона частот требований

Метод предназначен для испытаний электрических вращающихся тяговых машин, электрических тяговых аппаратов, силовых преобразователей железнодорожного подвижного состава; данный метод применяют по согласованию с заказчиком, если невозможно применение других методов, установленных настоящим стандартом.

Метод предназначен для проведения испытаний оборудования массой свыше 500 кг на вибрационных электромагнитных стендах резонансного типа.

Условия закрепления испытуемого оборудования при испытаниях, последовательность и порядок проведения испытаний — по методу 103-1.1 (см. 8.4.4.2).

Испытания на вибропрочность электрических тяговых аппаратов проводят при воздействии вертикальной синусоидальной вибрации с максимальной амплитудой ускорений 10 м/с^2 (1g) при одной частоте диапазона от 10 до 100 Гц в объеме 10 млн циклов вибрационного нагружения.

Испытания на вибропрочность силовых преобразователей проводят при воздействии вертикальной синусоидальной вибрации с максимальной амплитудой ускорений 15 м/с^2 (1,5 g) при одной частоте диапазона от 10 до 100 Гц в объеме 10 млн циклов вибрационного нагружения.

Испытания на вибропрочность электрических вращающихся тяговых машин, расположенных в кузове и под кузовом железнодорожного подвижного состава, проводят при воздействии вертикальной синусоидальной вибрации с максимальной амплитудой ускорения 30 м/с^2 (3,0 g), при суммарном векторе, при одной частоте диапазона от 10 до100 Гц в объеме 25 млн циклов вибрационного нагружения.

Испытания на вибропрочность тяговых электродвигателей с опорно-рамным подвешиванием и электрических вращающихся тяговых машин, устанавливаемых на тележках железнодорожного подвижного состава (для обрессоренного оборудования), проводят при воздействии вертикальной синусоидальной вибрации с максимальной амплитудой ускорений 50 м/с^2(5,0 g), при суммарном векторе, при одной частоте диапазона от 10 до 100 Гц в объеме 50 млн циклов вибрационного нагружения.

Испытания на вибропрочность тяговых электродвигателей с опорно-осевым подвешиванием проводят при воздействии вертикальной синусоидальной вибрации с максимальной амплитудой ускорений 120 м/с^2 (12,0 g) при суммарном векторе до 155 м/с^2, при одной частоте диапазона от 5 до 700 Гц в объеме 50 млн циклов вибрационного нагружения. При этом режим вибрационного нагружения реализуется вибрационным воздействием вибрационного стенда в диапазоне частот до 100 Гц и вибрационным воздействием со стороны тягового редуктора в диапазоне частот свыше 100 Гц, связанным с пересопряжением зубьев зубчатых колес.

8.4.5 Испытание на ударную прочность (испытание 104)

Испытание проводят по ГОСТ 20.57.406 (пункт 2.5, метод 104-1); ГОСТ 16962.2 (пункт 2.3, метод 104-1), ГОСТ Р 51371 (пункт 4, метод 104-1) с дополнениями по 8.4.5.1—8.4.5.3 настоящего стандарта.

8.4.5.1 На всех этапах проверок оборудования при испытании проверяют допустимое электрическое сопротивление его изоляции относительно корпуса, результаты проверок отражают в отчете об испытаниях (протоколе испытаний).

8.4.5.2 Испытаниям на ударную прочность подвергают тяговые электродвигатели с опорно-осевым подвешиванием.

8.4.5.3 Испытание проводят путем воздействия механических ударов многократного действия.

Оборудование подвергают воздействию ударов в вертикальном направлении с пиковым ударным ускорением 220 м/с^2 (22 g) длительностью от 2 до 20 мс общим числом 12000 ударов при испытании не более трех единиц оборудования для установленной выборки и 10000 ударов при испытании более 3 единиц оборудования для установленной выборки.

8.4.6 Испытание на воздействие одиночных ударов

Испытание проводят по ГОСТ 20.57.406 (пункт 2.7, метод 106-1); ГОСТ 16962.2 (пункт 2.4, метод 106-1); ГОСТ Р 51371 (пункт 6, метод 106-1) с дополнениями по 8.4.6.1—8.4.6.7 настоящего стандарта.

8.4.6.1 На всех этапах проверок оборудования при испытании проверяют допустимое электрическое сопротивление его изоляции относительно корпуса, результаты проверок отражают в отчете об испытаниях (протоколе испытаний).

8.4.6.2 Испытаниям на воздействие одиночных ударов подвергают следующее электротехническое оборудование для железнодорожного подвижного состава:

- оборудование, устанавливаемое в кузовах (на кузовах) и под кузовами локомотивов, МВПС, СПС, в грузовых и пассажирских вагонах локомотивной тяги (включая промышленный транспорт), в том числе по группе механического исполнения М25 по ГОСТ 17516.1, ГОСТ 30631 — степень жесткости 1 по ГОСТ 17516.1, ГОСТ 30631;

- оборудование, устанавливаемое на оси колесной пары или на тележках (для неподрессоренного оборудования) локомотивов, МВПС, СПС, в грузовых и пассажирских вагонах локомотивной тяги (включая промышленный транспорт), в том числе изделия по группе механического исполнения М27 по ГОСТ 17516.1, ГОСТ 30631 — степень жесткости устанавливается настоящим стандартом.

8.4.6.3 Испытание проводят путем воздействия механических ударов одиночного действия с полусинусоидальной формой ударного импульса.

Методы измерения параметров удара — по ГОСТ Р 51371 (приложение Б) и ГОСТ 20.57.406 (приложение 7).

8.4.6.4 Параметры режима испытаний на воздействие ударов одиночного действия для степени жесткости 1:

- значение пикового ударного ускорения — 30 м/с^2 (3g);

- длительность действия ударного ускорения — от 2 до 20 мс;

- направление удара — горизонтальное направление, совпадающее с направлением движения подвижной единицы;

- количество ударов — 3.

8.4.6.5 Параметры режима испытаний на воздействие ударов одиночного действия для оборудования, устанавливаемого на оси колесной пары или на тележках (для неподрессоренного оборудования):

- значение пикового ударного ускорения — 280 м/с^2 (28g);

- длительность действия ударного ускорения — от 2 до 20 мс;

- направление удара — вертикальное направление;

- количество ударов — 1000.

8.4.6.6 Испытание оборудования, устанавливаемого на оси колесной пары или на тележках (для неподрессоренного оборудования), на воздействие одиночных ударов проводят с учетом требований ГОСТ Р 51371 (пункт 4.17).

9 Оценка результатов испытаний

9.1 Испытание по определению динамических характеристик конструкции (испытание по определению резонансных частот конструкции)

За резонансные частоты принимают низшие значения резонансных частот оборудования (деталей, узлов, сборочных единиц) в установленном диапазоне частот, определенных при испытаниях выборки.

Допускается устанавливать диапазон резонансных частот оборудования.

У оборудования без амортизаторов или в отдельных узлах и деталях в составе изделий не рекомендуется допускать наличие механических резонансов конструкции в диапазоне частот от 0,5 Гц до частоты, выбираемой из ряда 20, 40 или 100 Гц.

9.2 Испытание на отсутствие резонансных частот конструкции в установленном диапазоне частот

Оборудование считают выдержавшим испытание, если резонансные частоты его конструкции отсутствуют в установленном диапазоне частот (см. 8.4.1.2).

9.3 Испытание на виброустойчивость при воздействии случайной и синусоидальной вибрации

Оборудование считают выдержавшим испытание, если в процессе выдержки и при заключительных проверках и измерениях оно удовлетворяет требованиям, установленным в стандартах, ТУ на него и ПИ для данного вида испытания, в том числе, если оборудование сохранило работоспособность и отсутствуют самопроизвольные срабатывания (замыкания и размыкания контактов).

9.4 Испытания на вибропрочность при воздействии случайной и синусоидальной вибрации, ударную прочность и воздействие одиночных ударов

Оборудование считают выдержавшим испытание если:

- отсутствуют повреждения, требующие замены сборочных единиц или деталей оборудования, а также ремонта оборудования со снятием с подвижного состава;

- при заключительных проверках и измерениях оборудование удовлетворяет требованиям, установленным в стандартах, ТУ и ПИ для данного вида испытаний;

- рабочие характеристики по 7.3.3.3 и показатели функционирования по 7.3.3.2 находятся в установленных пределах.

10 Оформление результатов испытаний

После завершения всех или части выполненных испытаний оборудования по результатам внешнего осмотра, освидетельствования технического состояния, заключительных измерений и проверки функционирования составляют отчет об испытаниях (протокол испытаний).

Протокол испытаний должен содержать ссылку на настоящий стандарт, а также:

- наименование и обозначение протокола, нумерацию каждого листа и общее количество листов;

- наименование и адрес испытательной организации или испытательного центра, сведения об его (их) аккредитации;

- сведения о виде и цели испытаний;

- наименование, обозначение, заводской номер испытуемого оборудования;

- сведения о количестве единиц испытуемого оборудования, результатах отбора и идентификации испытуемого оборудования, единиц оборудования;

- сведения о дате изготовления каждого оборудования и дате получения каждого оборудования на испытания;

- обозначения нормативных документов и номера пунктов, на соответствие которым проводят испытания;

- сведения о программе испытаний;

- сведения о методике(ах) испытаний;

- сведения о сроках проведения испытаний;

- полученные результаты осмотров и освидетельствований испытуемого оборудования, измерений и контроля, включающие в необходимых случаях таблицы, графики, схемы, фотографии и прочие материалы, касающиеся выполненных действий;

- сведения о зарегистрированных отказах и повреждениях испытуемого оборудования при проведении испытаний;

- сведения об используемом собственном и арендуемом испытательном оборудовании и средствах измерений;

- сведения о способе установки испытуемого оборудования на испытательном(ых) стенде(ах) и соответствии способа установки установленным требованиям для данного вида испытаний;

- сведения об использованных методах и порядке проведения испытаний, обосновании метода испытаний на вибропрочность на основе анализа резонансных частот испытуемого оборудования; в отчет об испытаниях (протокол испытаний) могут быть включены схемы расположения всех проверочных, контрольных и измерительных точек;

- сведения о проведенных проверках функционирования и результатах этих проверок, полученных до испытаний и после их завершения;

- результаты измерений показателей режима испытаний в проверочных и контрольной точках вместе с заключением относительно поставленных целей и принципов оценки результатов испытаний; для испытаний на воздействие случайной вибрации и удара (раздел 7) в протоколе испытаний должны содержаться построенные по проверочным точкам графики, рекомендуемая форма которых представлена на рисунках 1—6; также должны быть приведены допустимые отклонения режимов испытаний для установления соответствия выполненных испытаний требованиям настоящего стандарта;

- оценку результатов испытаний, кроме сертификационных;

- результаты и оценку результатов дополнительных измерений, выполненных в процессе начальных и заключительных проверок и измерений и в процессе выдержки испытаний, кроме сертификационных;

- рекомендации и предложения, вытекающие из полученных результатов испытаний, для испытаний, кроме сертификационных;

- наименования и адреса субподрядных испытательных организаций или аккредитованных испытательных центров (лабораторий), если предусмотрено их участие в проведении испытаний;

- подписи и должности ответственных исполнителей, проводивших испытания;

- подписи и должности лиц (лица), ответственных за подготовку отчета от имени испытательной организации или испытательного центра;

- дату выпуска отчета об испытаниях (протокола испытаний).

Приложение А
(справочное)

Дополнительные сведения по измерениям в эксплуатации, точкам измерения, методам регистрации эксплуатационных данных и методу получения *испытательных* уровней *вибрации* при испытаниях на воздействие случайной вибрации на основании *результатов* измерений в эксплуатации

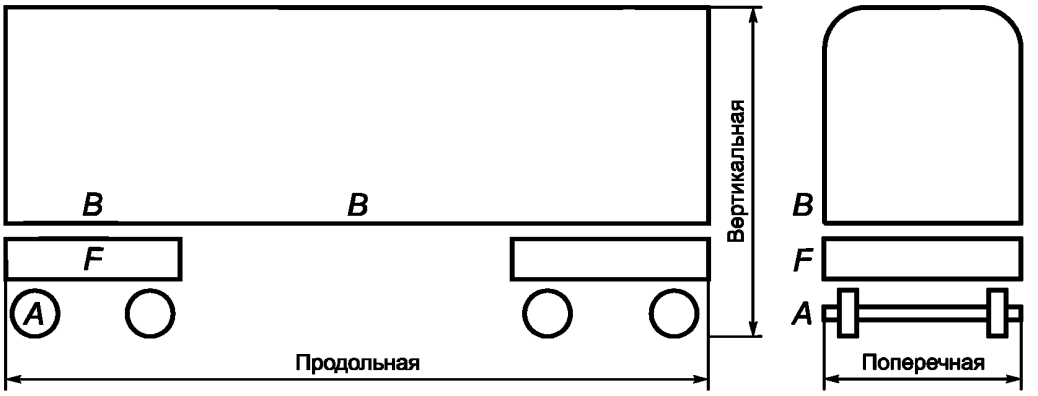
Условия стендовых испытаний оборудования, применяемого на подвижном составе, устанавливают на основе данных эксплуатационных измерений и полученных на их основе испытательных уровней вибрации.

Для установления условий испытаний, соответствующих эксплуатационным, используют:

- измерения в стандартных точках на оси колесной пары *(на тележке для неподрессоренного оборудования)*, тележке *(для подрессоренного оборудования)* и в кузове *(см А.1);*
- эксплуатационные данные, полученные от эксплуатирующих организаций и изготовителей оборудования, по форме анкеты, *приведенной в А.2*;
- обобщенные эксплуатационные данные *(см. А.3);*
- метод получения *испытательных* уровней *вибрации* при испытаниях на воздействие случайной вибрации на основании *результатов* эксплуатационных измерений *(см. А.4);*
- *испытательные* уровни *вибрации*, полученные на основании *результатов* эксплуатационных *измерений* методом по *А.4 (см. А.5).*

Примечание — Если имеются эксплуатационные данные по конкретному подвижному составу или железной дороге, *испытательные* уровни *вибрации* могут быть *получены* по методу, *приведенному в А.4.*

А.1 Стандартные точки измерения на оси колесной пары *(на тележке для неподрессоренного оборудования)*, тележке *(для подрессоренного оборудования)* и в кузове приведены на рисунке А.1.



A — точки измерения на оси колесной пары (*на тележке для неподрессоренного оборудования)* в вертикальном, поперечном и продольном направлениях; *F* — точки измерения на раме (тележке *для подрессоренного оборудования)* в вертикальном, поперечном и продольном направлениях; *B* — точки измерения в кузове в вертикальном, поперечном и продольном направлениях

Рисунок А.1

А.2 Эксплутационные данные, полученные от железных дорог и изготовителей оборудования, заполняют по каждой точке измерения в соответствии с таблицей А.1.

А.3 Обобщенные данные, полученные из эксплуатации, приведены в таблице А.2.

Т а б л и ц а А.1 — Сведения по условиям и результатам испытаний в эксплуатации

Точка измерения	
Направление измерения	
Показатель измерения/условия испытаний	Пояснение
Общие вопросы	
1 Основания для измерения вибрации	
2 Железнодорожная сеть	
3 Тип подвижного состава	
4 Испытания или испытания в штатных условиях эксплуатации	
5 Скорость *движения* подвижного состава	
Основные условия *испытаний*	
6 Погодные условия (температура, °С, относительная влажность, %, дождь, снег)	
7 Нагрузка на ось	
8 Тип рельсов (по классификации МСЖД *или по национальной классификации*)	
9 Основание для рельса (шпалы, балласт)	
10 Тип рельсового соединения (сварное, стыковое)	
Дополнительные условия *испытаний*	
11 Состояние колеса, профиль, конусность	
12 Состояние рельсов (СКЗ неровностей в вертикальном направлении)	
13 Длина используемого для измерений участка пути	
14 Число и радиус кривых	
15 Число стрелок по основному пути и на боковой путь	
16 Прочие особенности (мосты, туннели)	
17 Описание состава и общая масса	
18 Тяговое усилие (только для тяговых единиц)	
Регистрация данных	
19 Способ регистрации данных (частотная модуляция, динамический диапазон, импульсно-кодовая модуляция, динамический перевод адресов)	
20 Диапазон частот (нижнее и верхнее значения)	
21 Диапазон амплитуд (максимальное и минимальное значения)	
Анализ временной области	
22 Диапазон рабочих частот для анализа временной области	
23 Частота выборки	
24 Общее число выборок или общее время всех регистраций	
25 Максимальное ускорение (положительное), м/с^2	
26 Минимальное ускорение (отрицательное), м/с^2	
27 СКЗ	
28 Разрешение по амплитуде	
29 СКЗ (м/с^2) с учетом распределения вероятности	
Частотный анализ (рекомендуемая полоса частот: 500 Гц для кузова; 500 Гц для тележки и 500 Гц для оси колесной пары)	
30 Диапазон анализа частот, частота среза фильтра для устранения эффектов наложения спектров	
31 Частота выборки, соответствующей временной регистрации	
32 Разрешение по частоте Δf или число спектральных линий	
33 Число выборок при сборе данных (размер блока)	
34 Предельное значение нижней частоты	
35 Тип временного окна и длина записи при сборе/анализе данных	
36 Количество средних значений (временные регистрации)	
37 Перекрытие ($0 \le 0_t < 1$) и общее число выборок	
38 Разрешение СПМ (динамический диапазон)	
39 Уровень собственных шумов средств измерения	
40 Общее среднее квадратическое ускорение, м/с^2, на основании спектральной плотности мощности	

Окончание таблицы А.1

Точка измерения	
Направление измерения	
Показатель измерения/условия испытаний	Пояснение
Графические данные 41 СПМ для анализа временной области 42 Распределение плотности вероятности для анализа временной области	

Таблица А.2 — Сводные данные по СКЗ ускорений, полученных в эксплуатационных условиях

Категория оборудования, направление вибрации	Максимальные СКЗ ускорений, м/с^2	Усредненные СКЗ ускорений, м/с^2	Стандартное отклонение	Количество значений
1 *В кузове*:				
вертикальное	1,24	0,49	0,26	19
поперечное	0,43	0,29	0,08	15
продольное	0,82	0,30	0,20	8
2 На тележке *(для подрессоренного оборудования)*:				
вертикальное	7,0	3,1	2,3	14
поперечное	7,0	3,0	1,7	10
продольное	4,1	1,2	1,3	9
3 На оси колесной пары *(на тележке для неподрессоренного оборудования)*:				
вертикальное	43	24	14	19
поперечное	39	20	14	17
продольное	20	11	6	9
Примечание— Для получения испытательных уровней по *А.5* используют метод по *А.4.*				

А.4 Метод получения *испытательных* уровней *вибрации* при испытаниях на воздействие случайной вибрации на основании *результатов эксплуатационных измерений*

Для сокращения времени испытаний применяют метод усиления. При проведении испытаний на вибропрочность при воздействии случайной вибрации принимают, что *накопленные* повреждения пропорциональны числу циклов, умноженному на уровень напряжений в степени:

$$\text{Повреждения} = \alpha\sigma^m N_f, \qquad (A.1)$$

где α — коэффициент пропорциональности;

σ — уровень напряжений;

m — *показатель* степени (как правило, m = *3—9*);

N_f — число циклов.

Уравнение А.1 для уровней ускорений при допущении, что *накопленные повреждения* за срок службы и за период испытаний одинаковы, принимает вид:

$$T_s A_s^m = T_t A_t^m, \qquad (A.2)$$

где T_s — срок службы;

T_t — время испытания;

A_s — эксплуатационное ускорение;

A_t — испытательное ускорение.

Уравнение А.2 представлено в виде отношения ускорений:

$$\frac{A_t}{A_s} = \left(\frac{T_s}{T_t}\right)^{1/m}. \qquad (A.3)$$

Коэффициент ускорения *испытаний* равен временному коэффициенту, вычисляемому по формуле:

$$\text{Временной коэффициент} = \left(\frac{T_s}{T_t}\right)^{1/m}. \qquad (A.4)$$

Продолжительность эксплуатации T_s за период, равный 25 % срока службы 25 лет, при 300 *рабочих* днях в году и при 10 ч работы в день составляет 18750 эксплуатаций;

При продолжительности испытаний T_t, *равной 5 ч, и показателе степени m, равном 4 (обычный для металлов), коэффициент ускорения испытаний составляет:*

$$\text{Коэффициент ускорения} = \left(\frac{18750}{5}\right)^{1/4} = 7{,}83.$$

Обобщенные эксплуатационные данные приведены в таблице А.2 в виде СКЗ *ускорений* со стандартными отклонениями:

- уровни *ускорений* при *испытаниях на виброустойчивость оборудования, установленного в кузове, класса Б категории 1 равны* средним эксплуатационным уровням *плюс* два стандартных отклонения;
- уровни *ускорений* прочих категорий оборудования при *испытаниях на виброустойчивость равны* средним эксплуатационным уровням *плюс* одно стандартное отклонение;
- уровни *ускорений при испытаниях на вибропрочность* при воздействии случайной вибрации *равны* уровням *ускорений* при испытаниях *на виброустойчивость*, умноженным на коэффициент ускорения испытаний (см. таблицу А.3 для расчетных испытательных *уровней ускорений*).

А.5 *Испытательные* уровни ускорений, полученные на основании *результатов* эксплуатационных *измерений* по методу А.4, приведены в таблице А.3.

Таблица А.3 — *Испытательные* уровни ускорений, полученные по результатам эксплуатационных *измерений* по методу А.4

Категория *оборудования, направление вибрации*	СКЗ ускорений, м/с^2			
	Испытание на виброустойчивость		Испытание на вибропрочность	
	Класс А	Класс Б	Класс А	Класс Б
1 — *в кузове*:				
вертикальное	0,75	1,00	5,9	7,9
поперечное	0,37	0,45	2,9	3,5
продольное	0,50	0,70	3,9	5,5
2 — *на тележке (для подрессоренного оборудования)*:				
вертикальное	5,4	—	42,5	—
поперечное	4,7	—	37,0	—
продольное	2,5	—	20,0	—
3 — *на оси колесной пары (на тележке, для неподрессоренного оборудования)*:				
вертикальное	38	—	300	—
поперечное	34	—	270	—
продольное	17	—	135	—

Пример расчета испытательного уровня *ускорений* методом по А.4

Принятые обозначения для примера расчета:

AS — усредненный эксплуатационный уровень;
STD — стандартное отклонение;
RTL — уровень ускорений при испытаниях при воздействии случайной вибрации;
FRTL — уровень ускорений при испытаниях на виброустойчивость при воздействии случайной вибрации;
SLLRTL — уровень ускорений при испытаниях на вибропрочность;
класс А — категория 1. Оборудование, непосредственно устанавливаемое в кузове;
класс *Б* — категория 1. Узлы/детали, устанавливаемые на оборудовании, непосредственно устанавливаемом в кузове.

Кузов, вертикальное направление:
AS = 0,49 (таблица А.3);
STD = 0,26;
FRTL = AS + STD = 0,75 (класс А);
SLLRTL = FRTL × коэффициент ускорения = 5,90 (класс А).

Приложение В
(справочное)

Определение расчетных уровней *вибрации* оборудования, *соответствующих* условиям испытаний при воздействии случайной вибрации

В.1 Общие положения

Расчет механической прочности оборудования для железнодорожного подвижного состава выполняют при вибрационном воздействии, соответствующем условиям эксплуатации, или при расчетных уровнях вибрационного воздействия, соответствующих условиям вибрационных испытаний.

Расчетные уровни вибрационного возбуждения оборудования определяют точными и приближенными методами по приведенным в данном приложении основным уравнениям, которые представлены в общем виде. Уравнения для приближенных вычислений получены на основании анализа системы с одной степенью свободы. Расчетные уровни вибрационного воздействия касаются воздействия случайной вибрации.

В.2 Предмет расчета

При отсутствии исходных данных для расчета механической прочности оборудования по уровням вибрационных воздействий на оборудование в эксплуатации применяют альтернативные методы расчета воздействующей вибрации, соответствующей требованиям настоящего стандарта.

Методы расчета конструкции при ударных воздействиях не рассматриваются. Рекомендуется учитывать в расчете уровни ударного возбуждения, приведенные в настоящем стандарте.

В.3 Термины и определения

В.3.1 **пик-фактор:** Отношение пикового значения ускорения к среднему квадратическому значению вибрации во временно́й области.

В.3.2 **усталостное повреждение:** *Накопленный эффект* повреждения оборудования/деталей, вызванный вибрационными воздействиями, действующими в определенных точках.

В.3.3 **расчетное значение *ускорений*:** Максимальная допустимая вибрация для оборудования/детали (например, ее превышение может привести к повреждениям или нарушению нормальной работы).

В.3.4 **расчетный удар:** Максимально допустимый уровень кратковременного воздействия на оборудование/деталь (например, его превышение может привести к повреждениям или нарушению нормальной работы).

В.3.5 **система с одной степенью свободы:** Одноступенчатая система подрессоривания/демпфирования массы, которая может быть описана одним дифференциальным уравнением второй степени.

В.4 Обозначения

$A_{d(ft)}$ — амплитуда установившейся синусоидальной вибрации возбуждения в расчетной схеме при резонансе, соответствующая пределу выносливости *(при которой за срок службы оборудования не наступает усталостное повреждение)*, м/с^2;

$A_{d(mg)}$ — максимальная амплитуда установившейся синусоидальной вибрации возбуждения в расчетной схеме при резонансе, соответствующая испытательному уровню вибрации, м/с^2;

$СПМ_{25}$ — спектральная плотность мощности при испытании, выбранная по рисункам 1—4, при 25 %-ном сроке службы, (м/с^2)^2/Гц;

$СПМ_{100}$ — расчетная спектральная плотность мощности при 100 %-ном сроке службы, (м/с^2)^2/Гц;

Cf_t — значение пик-фактора, применяемое при испытании;

f — резонансная частота оборудования/деталей, рассматриваемых как система с одной степенью свободы, Гц;

N_d — расчетное число циклов нагружения для системы с одной степенью свободы, циклы;

N_{ll} — число циклов нагружения для системы с одной степенью свободы за срок службы (точка на кривой *усталости*, которая часто соответствует горизонтальному участку и соответствует пределу выносливости σ_{el}), циклы;

ν — отношения максимальное/СКЗ значений реакции системы с одной степенью свободы;

ν_l — нижняя граница ν;

ν_u — верхняя граница ν;

Q — 1/(2ξ) — коэффициент усиления при резонансе;

T_{rt} — продолжительность испытания на воздействие случайной вибрации, с;

ξ — критическое затухание;

σ_{el} — предел выносливости, Па.

В.5 Допущения

Уравнения в настоящем приложении составлены при следующих допущениях:

- амплитуда синусоидальной вибрации возбуждения, *соответствующая пределу выносливости*, $A_{d(ft)}$, м/с^2 [уравнение (В.8.1)], создает аналогичное воздействие на процесс усталостного повреждения при расчете, что и при

соответствующем уровне возбуждения случайными колебаниями *при СПМ*$_{100}$, (м/с^2)^2/Гц), при возбуждении колебаний оборудования/детали для системы с одной степенью свободы для каждого *рассматриваемого* резонанса;

- максимальная амплитуда синусоидальной возбуждающей вибрации, $A_{d(mg)}$, м/с^2 (*уравнение* (В.8.2) — разброс 3,0 σ), воздействует, как и максимальная амплитуда вибрации при каждом рассматриваемом резонансе при испытаниях, *превышающая в три раза значение СКЗ соответствующих случайных колебаний при пик-факторе до 2,5.*

Примечание — разброс 3,0 σ *представляет собой предельные уровни ускорений при случайной вибрации при значении пик-фактора до 3,0.* См. также уравнение В.6;

- динамические характеристики оборудования/деталей являются практически линейными;
- отношение масс оборудования и его опорной конструкции столь мало, что влиянием их динамического взаимодействия можно пренебречь;
- существуют одна или несколько преобладающих резонансных частот оборудования/деталей;
- процесс усталостного разрушения основан на модели разрушения Майнера;
- накопление усталостных повреждений за цикл нагружения пропорционально 4-й степени ($m = 4$) амплитуды колебаний системы с одной степенью свободы;
- существует предел выносливости σ_{el}, Па конструкции при N_{II} циклах *нагружения*;
- влияние пик-фактора на процесс усталостного повреждения не учитывают в расчете, что ведет к некоторому занижению результатов расчета (менее 5 % при значениях пик-факторов, установленных в настоящем стандарте);
- принимается, что амплитуды колебаний системы с одной степенью свободы при случайной вибрации имеют распределение Рэлея.

В.6 Методы расчета

Методы расчета основаны на соответствующей динамической модели, определяемой пользователем, в которой параметры возбуждающей вибрации приняты из соответствующего графика СПМ для испытаний на вибропрочность (5 ч, 25 % срока службы) и которые, в свою очередь, получены на основании эксплуатационных данных в соответствии с приложением А.

Рекомендуется выполнять расчеты ударных воздействий с учетом спектральной плотности их амплитуд в соответствии с ГОСТ 28213 (приложение В), на основе исходных данных по ударному возбуждению *(см. 7.7)*.

В.6.1 Расчетные вибрационные нагрузки

При расчете механической прочности оборудования расчетные вибрационные нагрузки принимают в соответствии с условиями вибрационного нагружения при испытаниях.

Процесс накопления *усталостного повреждения* рассматривают при уровнях вибрационного возбуждения, принятых для соответствующих испытаний по графику СПМ для испытаний на вибропрочность по настоящему стандарту (с уровнем, соответствующим 100 %-ному сроку службы), которые оценивают по критериям усталостного повреждения.

Расчетные уровни *вибрации* определяют относительно максимальных испытательных уровней амплитуд вибрации. Расчеты должны охватывать возможное ужесточение условий испытаний вследствие повышения амплитуды случайной вибрации при испытаниях при сокращении времени испытаний. Такой уровень возбуждения необязательно отражает реальные условия эксплуатации.

При испытании уровень возбуждающей случайной вибрации определяют на основании СКЗ ускорений и фактического пик-фактора (значение которого должно быть не менее 2,5), полученных на испытательном стенде.

При значениях пик-фактора, значительно превышающих 2,5, соответственно изменяется расчетный уровень вибрации возбуждения при расчете для обеспечения требований. Значения пик-фактора вибрации при расчете по данному приложению [см. В.5 и уравнение (В.8.2)] превышают значения пик-фактора при испытаниях [уравнение (В.10.2)].

Примечание — Если известно, что пик-фактор возбуждения при испытаниях составляет 2,5, то в соответствии с данным приложением расчетное синусоидальное возбуждение должно быть в три раза выше СКЗ испытательного возбуждения.

В условиях эксплуатации железнодорожного транспорта при различных сочетаниях вибрации, толчков и ударов пик-фактор может быть значительно выше 2,5 и расчетный уровень вибрации в эксплуатации определить *сложно*.

В.7 Точный метод расчета вибрационного возбуждения по настоящему стандарту

При выполнении точного метода вибрационного расчета используют испытательные уровни случайного возбуждения, преобразуемые в расчетные уровни случайного возбуждения.

В.7.1 Расчет на *усталость при применении возбуждения случайной вибрацией*

Уровни *СПМ*$_{25}$, которые соответствуют уровням вибрации при испытаниях на вибропрочность, выбирают из соответствующих рисунков 1—4. Расчетные уровни *СПМ*$_{100}$, (м/с^2)^2/Гц, *соответствующие пределу выносливости*, вычисляют по формуле

$$СПМ_{100} = 2СПМ_{25}, \quad (В.7.1)$$

где 2 — корректирующий множитель, учитывающий при расчете увеличение повреждаемости *при переходе* с 25 %-ного срока службы при испытании до 100 %-ного ($СПМ_{100} = СПМ_{25}\sqrt{4}$).

В.7.2 *Расчет* максимальных амплитуд *при возбуждении случайной вибрацией*

Уровни вибрации для расчетов механических напряжений, усилий и ускорений в конструкции *принимают по* $СПМ_{25}$, $(м/с^2)^2/Гц$.

В.8 Приближенные методы расчета *вибрационного* возбуждения

С учетом допущений, приведенных в В.5, приближенные расчетные амплитуды синусоидального возбуждения можно использовать в качестве альтернативы случайному возбуждению.

В.8.1 Расчет на усталость при возбуждении синусоидальной вибрацией

Приближенные значения амплитуды синусоидального возбуждения колебаний, соответствующей периоду выносливости, $A_{d(ft)}$, $м/с^2$, вычисляют по формуле

$$A_{d(ft)} = 1{,}7\left[\sqrt{(\pi/2)f(СПМ_{100}/Q)}\right][T_n / N_Ц / f)]^{(1/4)}. \quad (В.8.1)$$

В.8.2 Расчеты максимальных амплитуд при возбуждении синусоидальной вибрацией

Приближенные значения максимальной амплитуды синусоидального возбуждения колебаний $A_{d(mg)}$, $(м/с^2)$, вычисляют по формуле (разброс 3,0 σ)

$$A_{d(mg)} = 3{,}0\left[\sqrt{(\pi/2)f(СПМ_{25}/Q)}\right]. \quad (В.8.2)$$

В.9 Пример *расчета*

Расчет выполнен для оборудования, установленного в секции, которая смонтирована непосредственно в нижней части основной конструкции кузова вагона и на которую воздействуют *вибрационные нагрузки*. Следует определить соответствующие расчетные амплитуды ускорения возбуждающей вибрации в вертикальном направлении.

В.9.1 Точный метод

По рисунку 2 выбирают данные для испытаний на воздействие случайной вибрации: категория 1, класс Б — установленное в кузове оборудование (вертикальное направление); уровень СПМ (далее — нормальный уровень). Расчетный уровень СПМ, соответствующий пределу выносливости, вычисляют по уравнению В.7.1:

$$СПМ_{100} = 2 \cdot 1{,}9 = 3{,}8\ (м/с^2)^2/Гц.$$

(Соответствующее общему усталостному расчету *ускорений* СКЗ составляет $7{,}9\sqrt{2} = 11{,}2\ м/с^2$).

Выбранные значения непосредственно используют для расчетов при максимальной амплитуде вибрации в соответствии с В.7.2:

$$СПМ_{25} = 1{,}9\ (м/с^2)^2/Гц.$$

В.9.2 Приближенный метод

Параметры испытаний на воздействие случайной вибрации: категория 1, класс Б, установленное в кузове оборудование (вертикальное направление), выбирают по рисунку 2 (нормальный уровень). Значение $СПМ_{100}$ получено в В.9.1, исходные данные для расчета:

$$T_{rt} = 5\ ч = 18000\ с;\ N_Ц = 10^7;\ Q = 10;\ f = 20\ Гц.$$

Расчетную синусоидальную амплитуду, соответствующую пределу выносливости, $A_{d(ft)}$, вибрации вычисляют по формуле (В.8.1)

$$A_{d(ft)} = 1{,}7\left[\sqrt{(\pi/2)20(38/10)}\right]\left[5(3600/(10^7/20)\right]^{(1/4)} = 2{,}6\ м/с^2.$$

Расчетную максимальную синусоидальную амплитуду для расчетов $A_{d(mg)}$ вычисляют по формуле (В.8.2)

$$A_{d(mg)} = 3{,}0\left[\sqrt{(\pi/2)20(19/10)}\right] = 7{,}33\ м/с^2.$$

Определяют отношение максимальной амплитуды, соответствующей испытательному уровню, к амплитуде, соответствующей пределу выносливости:

$$A_{d(mg)}/A_{d(ft)} = 7{,}33/2{,}56 = 2{,}86.$$

Вывод: для моделирования усталостного процесса принимают, что оборудование в секции под вагоном подвергается длительному вибрационному воздействию при уровне синусоидальных колебаний с амплитудой 2,6 $м/с^2$.

При этом максимальный уровень возбуждения при испытаниях моделируют с использованием синусоидальной амплитуды возбуждения 7,33 м/с^2, который в этом случае в 2,86 раза выше (см. таблицу В.1).

В таблице В.1 приведены расчетные уровни возбуждения вибрации в рассматриваемом примере.

Таблица В.1 — Расчетные уровни возбуждения вибрации

Категория 1, класс Б, кузов (ξ = 0,05; Q=10) Расчетные уровни возбуждения												
Частота f, Гц	Случайная *вибрация* [формула (В.7.1)] $СПМ_{100}$, (м/с^2)^2/Гц			Случайная *вибрация* [формула В.7.2)] $СПМ_{25}$, (м/с^2)^2/Гц			Синусоидальная *вибрация* [формула В.8.1] $A_{d(ft)}$, м/с^2; N_{II} = 10^7 циклов			Синусоидальная *вибрация* [формула В.8.2] $A_{d(mg)}$, м/с^2; 3,0 σ		
	Вертикальное	Поперечное	Продольное	Вертикальное	Поперечное	Продольное	Вертикальное	Поперечное	Продольное	Вертикальное	Поперечное	Продольное
20	3,8	0,74	1,8	1,9	0,3	0,90	2,56	1,13	1,76	7,33	3,23	5,04

В.10 Общая форма уравнений для получения приближенного значения расчетного возбуждения

Упрощенные формы уравнений для приближенных значений расчетного возбуждения приведены в В.8.

В.10.1 Расчеты на усталость

Приближенные значения амплитуды возбуждения синусоидальных колебаний, соответствующие пределу выносливости $A_{d(ft)}$, м/с^2, вычисляют по формуле

$$A_{d(ft)} = \left[\sqrt{(\pi/2)f(СПМ_{100}/Q)}\right][T_n/(N_{II}/f)]^{(1/m)}\left[\int_{v1}^{vu} v^{(m+1)}e^{-v2/2}\partial v^{(1/m)}\right]. \quad (В.10.1)$$

Первый член уравнения Б.10.1 представляет СКЗ, м/с^2, для системы с одной степенью свободы, деленное на Q при возбуждении входным сигналом *широкополосной* случайной вибрации по настоящему стандарту (с уровнем, обеспечивающим 100 %-ный срок службы) из плоской части соответствующего графика СПМ для испытаний на вибропрочность.

Второй член — параметр, соответствующий различию в продолжительности испытания при воздействии случайной вибрации, T_{rt}, с, и расчетного времени достижения N_{II} циклов при частоте f, Гц.

Третий член — параметр, пропорциональный интегральному вкладу всех циклов, участвующих в процессе усталостного повреждения, при распределении Рэлея амплитуд колебаний системы с одной степенью свободы.

Коэффициент m — показатель степени, зависящий от наклона кривой усталости (см. приложение А). В настоящем разделе стандарта принято m = 4.

В.10.2 Расчет максимальной амплитуды

Приближенное значение максимальной амплитуды возбуждения синусоидальных колебаний $A_{d(mg)}$, м/с^2, вычисляют по формуле

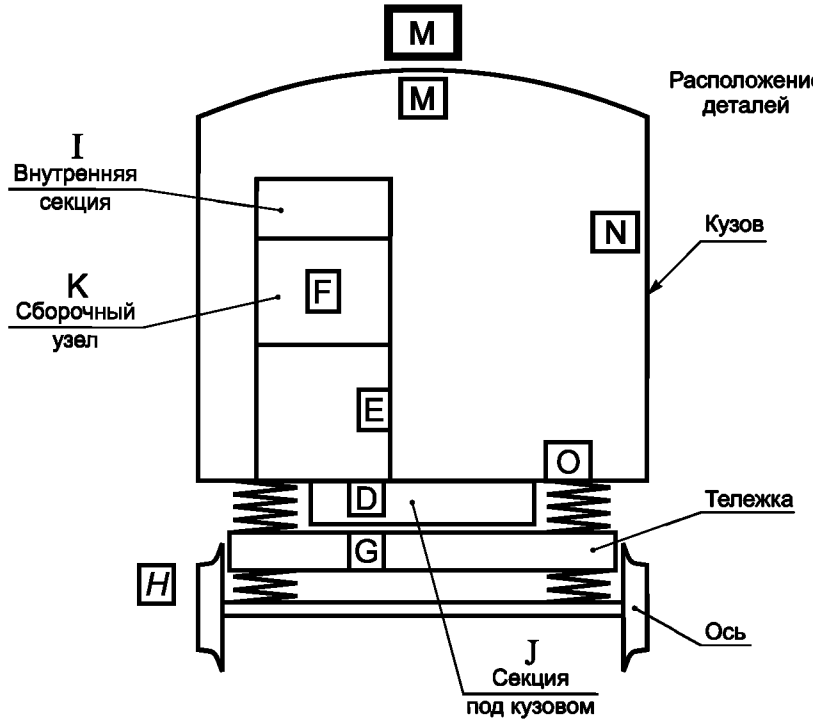
$$A_{d(mg)} = (Cf_t + 0{,}5)\left[\sqrt{(\pi/2)f(СПМ_{25}/Q)}\right]. \quad (В.10.2)$$

Первый член уравнения (В.10.2) представляет собой пик-фактор при испытании (с учетом ограничений по условиям стенда) плюс 0,5 для компенсации тенденции увеличения пик-факторов системы с одной степенью свободы в сравнении с пик-факторами возбуждения.

Второй член представляет собой СКЗ *ускорений*, м/с^2, системы с одной степенью свободы, разделенное на Q, при возбуждении входным сигналом *широкополосной* случайной вибрации, принятой из плоской части соответствующего графика СПМ при испытаниях на вибропрочность.

Приложение С
(справочное)

Общее расположение оборудования на железнодорожном подвижном составе и соответствующие категории при испытаниях



Категория	Место размещения	Описание места размещения оборудования
1 Класс А	MNO I и J	Оборудование, размещаемое непосредственно в кузове (на кузове) или под кузовом
1 Класс Б	D	Оборудование, размещаемое в секциях на раме, закрепленных в кузове
1 Класс Б	K и E	Оборудование, размещаемое в больших внутренних секциях, закрепленных в кузове
1 Класс Б	F	Оборудование в составе сборочных узлов, монтируемых в секции, закрепленной в кузове
2	G	Секции, сборочные узлы, оборудование и детали, которые монтируют на тележке железнодорожного транспортного средства (для подрессоренного оборудования)
3	H	Сборочные узлы, оборудование и детали или агрегаты, которые монтируют на собранной оси колесной пары железнодорожного транспортного средства (на тележке для не подрессоренного оборудования)
Примечание — Данные категории не распространяются на подвижной состав, имеющий только одну ступень подвешивания.		

Рисунок С.1 — Общее расположение оборудования на железнодорожном подвижном составе

Приложение ДА
(обязательное)

Сопоставление структуры настоящего стандарта со структурой примененного в нем европейского регионального стандарта

Таблица ДА.1

Структура настоящего стандарта				*Структура европейского регионального стандарта EH 61373:1999*			
Раздел	*Подраздел*	*Пункт*	*Подпункт*	*Раздел*	*Подраздел*	*Пункт*	*Подпункт*
4				1			
2				2			
3				3			
	7.1			4			
	7.2			5			
	7.3	*7.3.1*		6	6.1		
		7.3.2	*7.3.2.1*		6.2	6.2.1	
			7.3.2.2			6.2.2	
			7.3.2.3			6.2.3	
			7.3.2.4			6.2.4	
		7.3.3	*7.3.3.1*		6.3	6.3.1	
			7.3.3.2			6.3.2	
			7.3.3.3			6.3.3	
		7.3.4	*7.3.4.1*				
			7.3.4.2			6.4	6.4.1
			7.3.4.5				6.4.4
		7.3.5				6.5	
		7.3.6				6.6	
	7.4			7			
	7.5	*7.5.1*			8.1		
		7.5.2			8.2		
		7.5.3			8.3		
	7.6	*7.6.1*		9	9.1		
		7.6.2			9.2		
	7.7	*7.7.1*		10	10.1		
		7.7.2			10.2		
		7.7.3			10.3		
		7.7.4			10.4		
		7.7.5			10.5		

Окончание таблицы ДА.1

Структура настоящего стандарта				*Структура европейского регионального стандарта ЕН 61373:1999*			
Раздел	*Подраздел*	*Пункт*	*Подпункт*	*Раздел*	*Подраздел*	*Пункт*	*Подпункт*
		7.7.6			10.6		
		7.7.7			10.7		
—				11			
	7.8			12			
	9.4			13			
10				14			
—				15			
	7.9			16			
Приложение А				Приложение А			
Приложение В				Приложение В			
Приложение С				Приложение С			
—				Приложение D			
—				Приложение ZA			
Приложение ДА				—			

УДК 629.4.015:006.354 ОКС 17.160 45.060.01 Д59 ОКП 31 8000

Ключевые слова: вибропрочность, виброустойчивость, методы испытаний, оборудование, синусоидальная вибрация, случайная вибрация, удар

Редактор *Р.Г. Говердовская*
Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *Л.Я. Митрофанова*
Компьютерная верстка *В.И. Грищенко*

Сдано в набор 24.01.2012. Подписано в печать 20.02.2012. Формат 60x84 1/8. Гарнитура Ариал. Усл. печ. л. 5,12. Уч.-изд. л. 4,80. Тираж 108 экз. Зак. 199.

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