ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО

ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р 57211.3— 2016/ IEC/TR 62131-3: 2011

Внешние воздействия

ДАННЫЕ О ВОЗДЕЙСТВИИ НА ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ВИБРАЦИИ И УДАРОВ

Часть 3

Оборудование, перевозимое железнодорожным транспортом

(IEC/TR 62131-3:2011,
Environmental conditions — Vibration and shock of electrotechnical equipment — Part 3: Equipment transported in rail vehicles,
IDT)

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2019

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

1 ПОДГОТОВЛЕН Открытым акционерным обществом «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем» (АО «НИЦ КД») на основе собственного перевода на русский язык англоязычной версии международного документа, указанного в пункте 4

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

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 2 октября 2016 г. № 1576-ст

4 Настоящий стандарт идентичен международному документу IEC/TR 62131-3:2011 «Внешние воздействия. Вибрация и удары электротехнического оборудования. Часть 3. Оборудование, перевозимое железнодорожным транспортом» (IEC/TR 62131-3:2011 «Environmental conditions — Vibration and shock of electrotechnical equipment — Part 3: Equipment transported in rail vehicles», IDT).

Наименование настоящего стандарта изменено относительно наименования указанного международного стандарта для приведения в соответствие с требованиями ГОСТ Р 1.5—2012 (пункт 3.5).

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

5 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

6 ПЕРЕИЗДАНИЕ. Апрель 2019 г.

*Правила применения настоящего стандарта установлены в статье 26 Федерального закона от 29 июня 2015 г. № 162-ФЗ «О стандартизации в Российской Федерации». Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодном (по состоянию на 1 января текущего года) информационном указателе «Национальные стандарты», а официальный текст изменений и поправок — в ежемесячном информационном указателе «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ближайшем выпуске ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет (*gost.e-ecolog.ru

© Стандартинформ, оформление, 2016, 2019

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 2
3 Источник данных и их качество 2
4 Сопоставление записей из одного источника 6
5 Сопоставление данных из разных источников 9
6 Описание условий динамических воздействий 10
7 Сопоставление с МЭК 60721-3-2:1997 11
8 Заключение 13
Приложение ДА (справочное) Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным стандартам 43
Библиография 43

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Внешние воздействия

ДАННЫЕ О ВОЗДЕЙСТВИИ НА ЭЛЕКТРОТЕХНИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ ВИБРАЦИИ И УДАРОВ

Часть 3

Оборудование, перевозимое железнодорожным транспортом

Environmental conditions. Data of vibration and shock effects on electrotechnical equipment. Part 3. Equipment transported in rail vehicles

Дата введения — 2017—10—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает метод использования данных динамических процессов, наблюдаемых на железнодорожном транспорте, для формирования типичных условий воздействий вибрации и ударов при перевозке электротехнического оборудования железнодорожным транспортом. Полученные условия сравниваются с установленными в [16].

Используемые данные динамических процессов были получены из надежных литературных источников. Тем не менее все они прошли процедуру проверки достоверности согласно [14]. В стандарте представлены также данные, для которых полная процедура проверки достоверности не была выполнена вследствие отсутствия необходимой информации. Такие данные были использованы для косвенного подтверждения согласованности данных, прошедших процедуру проверки.

Данные, используемые в настоящем стандарте, были получены в ходе нескольких исследований, одно из которых было выполнено в Великобритании, а остальные — в США. Хотя в одном из исследований рассматривались смешанные перевозки, применяемые не во всех странах, полученные в его ходе данные включены для сопоставления и подтверждения качества информации из других источников. Большинство исследований вибрации железнодорожного транспорта было проведено в США, остальные — в Западной Европе. Некоторые из рассматриваемых транспортных средств в настоящее время выведены из эксплуатации. Достоверно установить, какие источники были использованы для формирования жесткостей вибрационного воздействия в МЭК 60721-3-2:1997, не представляется возможным.

В большинстве исследований, результаты которых рассматриваются в настоящем стандарте, анализу подвергались как вибрационные, так и ударные воздействия. В то же время в ряде источников основной упор сделан на измерения ударов. Такие удары появляются в основном в процессе маневрирования при сцепке вагонов. В свою очередь, стратегии маневрирования в разных странах могут быть разными. Во многих национальных железнодорожных системах не допускаются операции маневрирования и сцепки вагонов, когда в них находится чувствительный к ударам груз (исключением из этого правила может служить, например, транспортирование минерального сырья). Другие железнодорожные системы предполагают применение только вагонов высокого качества и, соответственно, использование операций маневрирования, смягчающих ударные воздействия. Эти меры позволяют существенно снизить жесткость ударного воздействия на транспортируемое чувствительное оборудование.

Издание официальное

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующие стандарты:

IEC 60068-2 (all parts), Environmental testing — Part 2: Tests [Тестирование окружающей среды. Часть 2. Тесты (все части)]

IEC 60721 (all parts), Classification of environmental conditions [Классификация условий окружающей среды (все части)]

IEC 60721-3 (all parts), Classification of environmental conditions — Part 3: Classification of groups of enviponmental parametrs and their severities [Классификация условий окружающей среды. Часть 3. Классификация групп параметров окружающей среды и их степеней жесткости (все части)]

IEC 60721-3-2:1997, Classification of environmental conditions — Part 3: Classification of groups of environmental parameters and their severities — Section 2: Transportation (Классификация условий внешних воздействий. Часть 3. Классификация групп внешних воздействий и их жесткостей. Раздел 2. Транспортирование)

IEC/TR 60721-4-2, Classification of environmental conditions — Part 4-2: Guidance for the correlation and fransformation of environmental condition classes of IEC 60721-3 to the environmental tests of IEC 60068. Transportation (Классификация условий окружающей среды. Часть 4-2. Руководство по корректировке и преобразованию условий окружающей среды по IEC 60721-3 в соответствии с экологическими испытаниями по IEC 60068. Траспортировка)

3 Источник данных и их качество

3.1 Измерения на железных дорогах Великобритании

Данные о вибрации железнодорожного транспорта в Великобритании из довольно давнего отчета [1] были использованы Министерством обороны Великобритании для обобщения информации о вибрационных и ударных воздействиях, которым подвергаются товары при их транспортировании по железным дорогам страны. Изначально в отчете рассматривались пять операций с грузами, которые в то время использовались в Великобритании, однако в последнее время некоторые из этих операций более не применяются.

В отчете указывается, что основными факторами, определяющими вибрационное воздействие на железнодорожном транспорте, являются:

- характеристики ходовой части вагона (подвески, колесной базы и т. д.);
- состояние железнодорожного пути;
- скорость транспортного средства;
- перевозимый груз.

Настоящий стандарт включает в себя данные, полученные для «самых плохих» (две оси, короткая колесная база, простое подвешивание), «средних» (увеличенная колесная база) и «хороших» (длинная колесная база, эффективная подвеска тележки, наличие пневматических тормозов) вагонов. Данные приводятся для низкочастотного диапазона — до 100 Гц. В отчете указывается на возможность присутствия составляющих вибрации на более высоких частотах, но какие-либо выводы по таким составляющим отсутствуют. Указывается также, что при расстоянии между шпалами приблизительно 0,7 м и движении на скорости от 50 до 100 км/ч наблюдается вертикальная вибрация в диапазоне частот от 20 до 40 Гц. В отчете отсутствует статистическая информация о погрешностях результатов измерений, а также о длительности этих измерений. Не приводится также информация о точном месте установки датчиков вибрации, а также о специфических особенностях вагонов.

В отчете указывается, что ударные воздействия, особенно в продольном направлении, являются следствием соударений вагонов, которые имеют место при страгивании, торможении и движении под уклон. Жесткость ударов обычно зависит от условий сцепки вагонов и состояния тормозной системы. В отчете рассматриваются вагоны с вакуумными, воздушными тормозами и вообще без тормозов, а также вагоны с жесткой и нежесткой сцепкой.

Из отчета следует, что основные удары имели место при столкновении груженых вагонов при маневрировании на сортировочных станциях. Жесткость ударов зависела от скорости сближения вагонов, амортизационных свойств ходовой части и общей массы вагона. В отчете описаны два типа амортизирующих устройств: пружинное и гидравлическое. Более традиционные пружинные амортизаторы уменьшают ускорение до момента полного сжатия пружины (обычно на скорости около 8 км/ч), после

чего уровень ускорения резко возрастает. Поскольку пружины можно считать линейной системой, накапливающей энергию, высвобождение этой энергии может вызывать маятниковое движение вагона. Линейность системы приводит к тому, что удар имеет форму, близкую к классической полусинусоиде. Новые вагоны были снабжены амортизаторами гидравлического типа, специально сконструированными для смягчения ударов таким образом, чтобы обеспечивать приблизительно одинаковое запаздывание реакции на удар во всем диапазоне скоростей. При этом значительно уменьшается и количество высвобождающейся энергии. Форма ударного импульса в данном случае близка к трапецеидальной. В отчете приведено распределение скоростей ударов (см. рисунок 3).

В целом данные, приведенные в отчете, не могут рассматриваться как вполне удовлетворительные с точки зрения их качества вследствие того, что в отчете отсутствуют статистические характеристики результатов измерений. Тем не менее данные этого отчета использованы в настоящем стандарте ввиду их полноты с точки зрения описания ударных и вибрационных воздействий.

3.2 Удары в продольном направлении, по данным Американской ассоциации железных дорог

Относительно недавние исследования, проведенные Американской ассоциацией железных дорог (см. [2]), посвящены анализу ударных воздействий вдоль продольной оси вагона. Хотя из наименования документа должно следовать, что исследования в большей части посвящены измерениям и анализу данных, в действительности в нем основное место занимает обсуждение общих вопросов. Как следствие, приведенной в документе информации недостаточно для оценки достоверности представленных данных (отсутствуют статистические характеристики процессов). Динамические воздействия, рассматриваемые в отчете, полностью связаны с соударениями вагонов во время маневрирования, как оно предписано правилами национальной системы железных дорог. Отчет содержит классифицированную по группам информацию об ударах в продольном направлении, обусловленных соударениями:

- вагона со стандартным поглощающим аппаратом сцепного устройства с другим аналогичным вагоном на скорости от 1,8 до 2,7 м/с;
- вагона с поглощающим аппаратом типа M921 с вагоном со стандартным поглощающим аппаратом на скорости от 1,8 до 3,8 м/с;
- вагона с поглощающим аппаратом типа M921D с вагоном со стандартным поглощающим аппаратом на скорости от 1,8 до 3,6 м/с;
- вагона с поглощающим аппаратом типа M921 с другим аналогичным вагоном на скорости от 1,8 до 3,6 м/с;
- вагона с поглощающим аппаратом типа M921D с вагоном с поглощающим аппаратом типа M921 на скорости от 1,8 до 3,7 м/с;
- вагона с поглощающим аппаратом типа M921D с другим аналогичным вагоном на скорости от 1,8 до 3,7 м/с;
- вагона с поглощающим аппаратом с другим вагоном с поглощающим аппаратом (типы поглощающих аппаратов неизвестны) на скорости от 1,3 до 4,0 м/с.

В отчете указано, что под стандартным поглощающим аппаратом понимается пружинный амортизатор с ходом до 85 мм и малым демпфированием. Поглощающий аппарат типов M921 и M921D представляет собой гидравлический демпфер с полным ходом от 250 до 500 мм. При проведении измерений была установлена частота выборки 256 $с^{-1}$ и использовался фильтр низких частот для защиты от наложения спектров с частотой среза 60 Гц. Длительность записи для каждого удара составляла 2 с (хотя реальная длительность ударного воздействия всегда была меньше этого значения). Предполагается, что измерения выполнялись с помощью одного трехкомпонентного акселерометра, встроенного в цифровое устройство записи. Место установки акселерометра не указывается. Скорость соударения определялась с помощью радарного устройства (без указания его метрологических характеристик). Используемый акселерометр относится к преобразователям пьезорезистивного типа, позволяющим измерять отклик в низкочастотном диапазоне, начиная с 0 Гц. Такой выбор является подходящим для измерений импульсов большой длительности, подобных тем, что имели место в указанном исследовании.

В отчете приведены пиковые значения ускорения (положительные и отрицательные), среднеквадратичные значения ускорения (a_{rms}) и значения пик-фактора для диапазонов частот от нуля до 60 Гц, до 10 Гц и до 3 Гц. В двух последних случаях определялась длительность удара и рассчитывался сигнал скорости вибрации. Скорость вибрации сравнивалась со скоростью соударения вагонов, чему посвящена значительная часть отчета.

3.3 Сравнение условий разных видов перевозок, по данным Американской ассоциации железных дорог

Относительно недавние исследования, проведенные Американской ассоциацией железных дорог (см. [3]), посвящены анализу динамических воздействий на стандартизованные контейнеры в условиях смешанных перевозок (дорожным и железнодорожным транспортом). Целью исследований было сравнение воздействий для этих двух видов перевозок. Техническая часть исследований содержит описание проведенных измерений, анализа данных и полученных результатов. Для разных видов перевозок сведения были получены из разных отчетов (см. [4]—[6]) и обобщены в итоговом отчете [7]. Испытания проводились на железных дорогах США и Канады.

Исследования включали в себя три этапа:

Этап 1. На стандартную 29-метровую грузовую платформу были загружены два трейлера. Состав передвигался по трансконтинентальным маршрутам, проложенным по горам, холмам и равнинной местности США и Канады. Общая протяженность маршрута — 14 500 км.

Этап 2. Четыре загруженных стандартных 12-метровых контейнера перемещались составами для смешанных перевозок по маршруту общей длиной 18 000 км по железным дорогам преимущественно США. В качестве составов использовались двухъярусная железнодорожная платформа, сочлененные контейнерные платформы и сочлененные трейлерные платформы. Шарнирное сочленение обеспечивало постоянство длины соединения (без провисания).

Этап 3. 14-метровая грузовая платформа путешествовала по автострадам, соединяющим штаты США (4200 км), автострадам внутри штатов (3050 км) и городским улицам (2253 км). Динамические воздействия измерялись также во время погрузки на транспортное средство и выгрузки с него.

Как следует из отчета, на разных этапах применялись разные устройства записи данных. На этапе 1 запись одновременно осуществлялась с помощью 18-канальной системы сбора данных и шести независимых устройств записи. По два таких устройства устанавливались на каждый трейлер и на платформу. Многоканальная система имела фильтр нижних частот с частотой среза 30 Гц и осуществляла выборку данных с частотой 128 $с^{-1}$. Запись велась в течение примерно 11 % общего времени перевозки грузов по железной дороге. Шесть автономных устройств записи обеспечивали преимущественно измерение ударных процессов в окне длительностью 0,5 с с частотой выборки 1600 Гц. На оставшихся двух этапах измерения проводились с использованием двух автономных устройств записи. Одно устройство было запрограммировано на запись случайной вибрации на заданном интервале времени с пороговым значением 0,1 g. Для другого устройства пороговое значение было установлено на уровне 0,5 g, что обеспечивало сбор данных об ударных процессах. Оба устройства были снабжены трехкомпонентными пьезорезистивными акселерометрами, позволявшими измерять вибрацию в продольном, поперечном и вертикальном направлениях. Частота выборки для обоих устройств была выбрана 256 $с^{-1}$.

В настоящем стандарте рассматривается только та часть данных отчета [3], которая связана с измерениями вибрации на больших 12-метровых контейнерах при их перевозках по железным дорогам США и Канады. Данные обладают хорошим качеством и удовлетворяют критериям их оценки (в пределах одного источника).

3.4 Удары и вибрация в товарных вагонах, по данным Американской ассоциации железных дорог

Относительно недавние исследования, проведенные Американской ассоциацией железных дорог (см. [8]), посвящены измерениям и анализу вибрации и ударов, которым подвергается груз при перевозке стандартными и амортизированными товарными вагонами. Эти исследования во многом повторяют те, что рассмотрены в 3.3. Данные были собраны для 14 вагонов, совершивших в общей сложности 16 рейсов общим расстоянием 40 000 км. Вагоны имели разную загрузку и располагались в разных местах железнодорожного состава. В каждом вагоне было установлено от 2 до 4 программируемых устройств записи, в состав каждого из них входил один трехкомпонентный пьезорезистивный акселерометр. Одно из устройств было запрограммировано на запись 4-секундных реализаций случайной вибрации в течение заданных интервалов времени с заданным пороговым уровнем 0,1 g. Другое устройство осуществляло записи 2-секундных реализаций в том случае, когда значение ускорения превышало 0,5 g в течение 15,6 мс, что обеспечивало сбор данных об ударных процессах в вагонах. Частота выборки в обоих случаях составляла 256 $с^{-1}$. Такая пара записывающих устройств располагалась на полу по возможности ближе к центру грузовой платформы.

Подобно отчету, рассмотренному в 3.3, в [8] содержатся сведения о распределении ускорений при ударах и спектральные плотности мощностей ускорения для вибрации. Сведения распространяются

только на товарные вагоны, применяемые в национальной железнодорожной системе США. Данные обладают хорошим качеством и удовлетворяют критериям их оценки (в пределах одного источника).

3.5 Удары и вибрация, воздействующие на роудрейлеры, по данным Американской ассоциации железных дорог

Относительно недавние исследования, проведенные Американской ассоциацией железных дорог (см. [9]), посвящены измерениям и анализу вибрации и ударов, которым подвергаются роудрейлеры модификаций Mk IV и Mk V. Эти исследования во многом повторяют те, что рассмотрены в 3.3 и 3.4. Данные были собраны по двум маршрутам, на каждом из которых была использована своя модификация роудрейлера. Испытания каждого из роудрейлеров проводились с восемью разными грузами (не повторяющимися для разных роудрейлеров). На каждом трейлере было установлено по два программируемых устройства записи, в состав каждого из которых входил один трехкомпонентный пьезорезистивный акселерометр. Одно из устройств было запрограммировано на запись 4-секундных реализаций случайной вибрации в течение заданных интервалов времени с заданным пороговым уровнем 0,1 g. Другое устройство осуществляло записи 2-секундных реализаций в том случае, когда значение ускорения превышало 0,5 g в течение 15,6 мс, что обеспечивало сбор данных об ударных процессах в вагонах. Частота выборки в обоих случаях составляла 256 $с^{-1}$. Такая пара записывающих устройств располагалась близко к порогу задней двери трейлера, что в плане приблизительно соответствует центру области размещения груза.

Подобно отчетам, рассмотренным в 3.3 и 3.4, в [9] содержатся сведения о распределении амплитуд для ударов и спектральные плотности мощностей ускорения для вибрации. Сведения распространяются только на роудрейлеры, применяемые в национальной железнодорожной системе США. Данные обладают хорошим качеством и удовлетворяют критериям их оценки (в пределах одного источника).

3.6 Дополнительные источники данных

Поиск информации о наблюдавшихся динамических воздействиях на железнодорожном транспорте позволил обнаружить еще несколько источников, заслуживающих доверия, но для которых не было возможности провести полную процедуру подтверждения надежности данных. Использовать данные из источников, описанных в настоящем пункте, следует с осторожностью. Они включены в настоящий стандарт в первую очередь в качестве вспомогательного инструмента подтверждения информации из других источников.

В середине 70-х годов прошлого века по поручению Министерства обороны Великобритании был проведен ряд исследований, посвященных воздействиям ударов на транспорте. Заключительный отчет по теме (см. [10]) включает в себя обширный обзор доступной информации об ударных воздействиях. Все описанные удары являлись следствием столкновений вагонов при маневрировании. В отчете приведен ряд ссылок на работы, где рассматриваются данные аналогичных исследований. Однако все эти ссылки относятся к довольно старым исследованиям, и кроме того, оригинальные материалы этих исследований недоступны. Данные, представленные в [10] и относящиеся к динамическим воздействиям в процессе маневрирования (см. рисунок 28), нерепрезентативны для практики, применяемой в последние годы на железных дорогах Великобритании.

В целях написания военного стандарта Mil Std 810, устанавливающего типичные жесткости динамических воздействий при транспортировании, был проведен ряд обширных исследований, в ходе которых в том числе рассматривалась вибрация на платформах некоторых железнодорожных транспортных средств. Результаты исследований нашли отражение в [11]. Измерения осуществлялись в ходе трех перевозок по железным дорогам США. Кроме того, в отчет включены данные из неидентифицированного источника. В общей сложности описаны динамические отклики в диапазоне до 350 Гц для 22 событий. Однако в отчете по результатам измерений не сопоставлены транспортные средства, для которых эти результаты получены. Кроме того, в отчете [11] использован ряд специфических методов анализа, что затрудняет оценку надежности качества данных сравнением с данными из других источников.

Французский военный стандарт GAM EG 13 (см. [12]) содержит данные, полученные для трех транспортных средств. Измерения были проведены на железнодорожных путях, находящихся в разном техническом состоянии, на разных скоростях движения (хотя точное описание условий испытаний не приведено). Все данные представлены в форме спектральной плотности ускорения с разрешением 1 Гц и выше. Длительность записей неизвестна, что не позволяет осуществить их статистический анализ. На одном графике представлены спектры вибрации для одного транспортного средства на скоростях 90, 10 и 120 км/ч. Дополнительно представлены ударные спектры для столкновений на скоростях 4 и 7 км/ч.

Кроме того, был выявлен еще ряд источников данных, которые трудно связать с какими-либо конкретными условиями динамических воздействий. Эти данные приведены для полноты анализа и возможности сопоставления с ними данных из надежных источников. Так, в [13] приведены полученные отклики в вертикальном направлении для двух транспортных средств.

4 Сопоставление записей из одного источника

4.1 Общие замечания

Данные из каждого источника подверглись проверке на самосогласованность. Процедура проверки записей вибрации учитывала ее изменчивость вследствие изменений условий работы и характеристик транспортного средства. Степень доверия к полученным данным непосредственно влияет на уровни спектров, используемых для описания жесткости воздействий на железнодорожном транспорте.

4.2 Измерения на железных дорогах Великобритании

В отчете [1] приводится много сравнений данных, но без указания должной основы для таких сравнений. Делается вывод, что вибрация в вертикальном направлении несколько превосходит поперечную. Что же касается продольной вибрации, то она, как правило, незначительна. Однако в отчете указано, что исследовавшиеся вагоны были снабжены простой подвеской (какие обычно используют для перевозок минерального сырья), которая делает условия передачи вибрации в вертикальном направлении много менее благоприятными. Полученные данные о вибрации в вертикальном и поперечном направлениях представлены на рисунках 1 и 2. Информация об амплитудах вибрации представлена в таблице 1.

В отчете указывается, что удары в продольном направлении могут быть следствием соударений вагонов, которые имеют место при страгивании, торможении и движении под уклон. Жесткость таких ударов обычно зависит от условий сцепки вагонов и состояния тормозной системы. В отчете рассматриваются вагоны с вакуумными, воздушными тормозами и вообще без тормозов, а также вагоны с жесткой и нежесткой сцепкой. Получены следующие типичные максимальные значения ускорения удара в продольном направлении для вагонов разных типов:

- 0,2 *g* для условий жесткой сцепки и эффективного торможения;
- 0,5 *g* для условий нежесткой сцепки и эффективного торможения;
- 2,0 *g* для условий нежесткой сцепки и отсутствия торможения.

Из отчета следует, что наиболее сильные удары имели место при столкновении груженых вагонов при маневрировании на сортировочных станциях. Жесткость ударов зависела от скорости сближения вагонов, амортизационных свойств ходовой части и общей массы вагона. В отчете описаны два типа амортизирующих устройств: пружинное и гидравлическое. Сообщается, что удар в продольном направлении имеет максимальную длительность, но не обязательно максимальное пиковое значение. Вследствие расположения центра тяжести вагона непосредственно над буфером пиковое значение вибрации в вертикальном направлении может быть в полтора раза больше, чем в продольном, но при этом длительность удара может составлять всего 20 мс. Получены следующие пиковые значения ускорения:

- 1,5 *g* для вагонов с пружинным амортизатором (не допуская их полного сжатия) с полным грузом;
- 3,0 *g* для вагонов с пружинным амортизатором (не допуская их полного сжатия) с малым грузом;
- 15,0 *g* и более для вагонов с пружинным амортизатором (после их полного сжатия) с полным грузом;
- 2,0 *g* и более для вагонов с гидравлическим амортизатором с полным грузом при соударениях на скорости 8 км/ч (для малонагруженных вагонов ускорение вдвое больше);
- 4,0 *g* и более для вагонов с гидравлическим амортизатором с полным грузом при соударениях на скорости 15 км/ч (для малонагруженных вагонов ускорение вдвое больше).

В отчете не показано, на основе каких данных получены вышеприведенные значения.

4.3 Удары в продольном направлении, по данным Американской ассоциации железных дорог

Отчет [2] представляет собой результат единственных в своем роде исследований, посвященных измерению и анализу ударов вдоль продольной оси вагонов. Притом что результатом исследований стало получение числовых значений для ряда естественным образом выбранных показателей, приведенные в отчете данные позволяют на их основе получить собственные оценки жесткости продольных ударов. В качестве итоговых показателей в отчете выбраны пиковые и среднеквадратичные значения отфильтрованной

вибрации. В отчете представлены типичные ударные импульсы, возникающие при столкновении вагонов разных типов (см. рисунок 4). В отчете приведены характеристики ускорения для 96 случаев столкновения вагонов разных типов на разных скоростях (см. рисунки 5 и 6). Для этих столкновений получены среднеквадратичные значения (a_{rms}) и пик-факторы (см. рисунки 7 и 8). Значительная часть отчета посвящена оценке отношения энергии удара к переданной энергии импульса в продольном направлении (см. рисунок 9). Сделан вывод, что чем лучше поглощающий аппарат автосцепного устройства, тем меньше пиковое значение и больше длительность ударного импульса (см. рисунок 10).

Представленные в отчете данные позволяют установить соотношение между пиковым значением удара и его длительностью для вагонов разных типов. При этом ряд результатов является явно выпадающим из построенной зависимости. Как правило, эти результаты получены для случаев столкновения двух вагонов с поглощающими аппаратами неизвестных типов. Каких-либо разъяснений имеющим место отклонениям в отчете не приводится.

4.4 Сравнение условий разных видов перевозок, по данным Американской ассоциации железных дорог

Отчет [3] включает в себя результаты измерений и анализа вибрационных и ударных воздействий, которым подвергаются стандартные контейнеры при их перевозке железнодорожным и автодорожным транспортом. На каждом этапе исследований измерения проводились для разных видов транспорта, при этом основной целью исследований было сопоставление жесткости динамических воздействий для транспортов двух видов. Тем не менее данные, приведенные в отчете, позволяют сделать ряд сопоставлений условий воздействия вибрации для железнодорожных вагонов разных типов. В частности, приведены данные для сравнения вибрации в разных направлениях. В отчете даны распределения значений сигналов вибрации и ударов, которые позволяют вновь прийти к выводу, что пиковые значения естественным образом согласуются с указанными распределениями и не должны рассматриваться как аномалии (выбросы).

Анализ результатов измерений ударов (см. таблица 5) позволил установить следующее:

a) определены характеристики распределения пиковых значений ускорения для разных типов оборудования и транспорта. Имеющиеся данные не позволяют с определенностью делать какие-либо заключения, однако общая сводка результатов, приведенная в таблице 5, показывает весьма высокое отношение стандартного отклонения к среднему значению. Это происходит от того, что значение ускорения для приблизительно 1 % всех данных значительно выше, чем для остальных. Как результат, распределение имеет явную асимметрию и характеризуется редкими появлениями экстремальных значений;

b) распределение для ударного воздействия на стандартный 27-метровый трейлер на платформе в продольном направлении показано на рисунке 11 и в таблице 2. Это распределение соответствует направлению наиболее жесткого воздействия ударов, но оно не представительно с точки зрения предельных воздействий;

c) распределение для ускорения в поперечном направлении показано на рисунке 12 и в таблице 3. Ударное воздействие в поперечном направлении является наименее жестким как с точки зрения преобладающих значений ускорения, так и с точки зрения предельных воздействий;

d) распределение для ускорения в вертикальном направлении показано на рисунке 13 и в таблице 4. Ударное воздействие в вертикальном направлении похоже на то, что наблюдается вдоль продольной оси вагона.

Анализ результатов измерений вибрации позволил установить следующее:

a) вибрация в вертикальном направлении на железнодорожном транспорте сопоставима с вибрацией при движении трейлера по городским улицам или автомагистралям или несколько ниже. Характеристики распределения пиковых значений приведены в таблице 6. Отчет содержит графики спектральных плотностей мощности — усредненные и огибающие по пиковым значениям. Огибающая для вертикальной оси показана на рисунке 14. Из него видно, что вибрация в диапазоне частот измерений мало зависит от типа транспортного средства;

b) характеристики вибрации в поперечном направлении приведены в таблице 6, а огибающая спектров показана на рисунке 15. Для разных транспортных средств наблюдается больший разброс данных, чем в случае вибрации в вертикальном направлении, но общие закономерности еще просматриваются;

c) характеристики вибрации в продольном направлении приведены в таблице 6, а огибающая спектров показана на рисунке 16. Эти спектры сильно зависят от вида транспортного средства. Никаких общих закономерностей установить не удается.

4.5 Удары и вибрация в товарных вагонах, по данным Американской ассоциации железных дорог

Поскольку данное исследование во многом повторяет то, что описано в отчете [3], можно ожидать, что его результаты будут аналогичны изложенным в 4.4. Одной из основных целей исследований было сравнение условий воздействий вибрации в стандартных вагонах и вагонах с амортизационными устройствами, а также выявление зависимости от расположения вагона в железнодорожном составе. Кроме того, рассматривалась зависимость жесткости воздействия от его направления. Основным недостатком приведенных в отчете [8] данных является, как и в предыдущем исследовании, отсутствие сведений о длительностях ударных импульсов. Особенно этот недостаток сказывается при анализе ударов в продольном направлении.

Результаты измерений вибрации в середине и в конце вагонов обоих типов в вертикальном, поперечном и продольном направлениях показаны на рисунках 17—19. Приведены только огибающие спектров по их пиковым значениям, поскольку исходное представление данных в логарифмическом масштабе по вертикальной оси затрудняет получение усредненных спектров. В диапазоне до 5 Гц данные всех четырех измерений близки между собой, в то время как на более высоких частотах видна разница между стандартным вагоном и вагоном с амортизационным устройством. Данные измерений в поперечном направлении имеют больший разброс, но согласуются с данными измерений в вертикальном направлении. Наименьшей согласованностью обладают данные измерений в продольном направлении. Есть признаки того, что для стандартных вагонов имели место некоторые ударные воздействия.

На рисунках 20—23 и в таблице 7 приведены данные о распределении размахов ($a_{p\text{-}p}$) ударных ускорений в середине и в конце вагонов обоих типов. Из них видно, что в случае стандартного вагона разница в ударных воздействиях слабо зависит от места измерения, но эта разница становится существенной в случае вагона с амортизационным устройством. Что касается предельных (максимальных) значений, то разница в жесткости для вагонов разных типов мала в вертикальном и поперечном направлениях, но в продольном направлении в случае стандартного вагона значения ускорения будут в три раза больше.

4.6 Удары и вибрация, воздействующие на роудрейлеры, по данным Американской ассоциации железных дорог

Одной из основных целей исследования, также в значительной степени повторяющего те, что описаны в [3] и [8], было сравнение условий воздействий вибрации и ударов для роудрейлеров модификаций Mk IV и Mk V по разным направлениям воздействия. Как и в предыдущих исследованиях, основным недостатком приведенных данных является отсутствие информации о длительностях ударов.

На рисунке 24 показаны вибрационные отклики роудрейлеров Mk IV и Mk V по трем осям. Приведены только огибающие спектров по их пиковым значениям, поскольку исходное представление данных в логарифмическом масштабе по вертикальной оси затрудняет получение усредненных спектров. Видна хорошая согласованность полученных результатов, из которых следует, что вибрация в вертикальном и поперечном направлениях выше, чем в продольном.

На рисунке 25 показана функция распределения размаха ускорения вибрации для роудрейлера Mk V на частотах 10 и 30 Гц. Сводная информация приведена в таблице 8.

4.7 Дополнительные источники данных

Ниже приведен анализ данных из источников, заслуживающих доверия, но для которых не было возможности провести полную процедуру проверки достоверности. Он включен в настоящий стандарт в первую очередь в качестве вспомогательного материала для подтверждения информации из других источников.

В отчете [10] приведены ссылки на работы, в которых получены данные об ударных воздействиях при маневрировании составов. Приведенные в отчете ударные спектры воспроизведены на рисунках 26 и 27. Они относятся к ударам на разных скоростях между вагонами, снабженными как пружинными, так и гидравлическими поглощающими аппаратами. На рисунках хорошо видна разница, обусловленная разными конструкциями поглощающих аппаратов.

Анализ вибрации, выполненный в отчете [11], специфичен, что не позволяет сопоставить его результаты с данными других источников. В отчете сформированы модельные спектры испытательных воздействий (см. рисунок 29), которые обобщают данные для транспортных средств разных видов. Представленная в отчете информация об ударных спектрах сопоставима с данными других источников. Ударные спектры получены для событий двух видов: повторяющихся (проезд через рельсовые стыки, через стрелочные переводы) и случайных (столкновения при маневрировании), представленных на рисунках 30 и 31 соответственно.

На рисунках 32—34 показаны наложенные друг на друга спектры вибрации, действующей в продольном, поперечном и вертикальном направлениях соответственно, из стандарта [12]. На каждом рисунке показаны спектры для железнодорожных путей среднего, высокого и очень высокого качества при разных скоростях движения состава. Полученные данные хорошо согласуются между собой. На рисунках 35 и 36 показаны ударные спектры для продольной и вертикальной осей, полученные для двух разных скоростей соударения вагонов. Разница между этими спектрами также хорошо согласуется с ожидаемой.

На рисунке 37, взятом из [13], показан отклик вибрации в вертикальном направлении для двух железнодорожных транспортных средств. Однако эти данные могли быть, в свою очередь, получены из данных отчета [8].

5 Сопоставление данных из разных источников

Большинство данных, рассматриваемых в настоящем стандарте, демонстрируют хорошую согласованность не только в пределах одного источника, но также и по разным источникам. Ни для какого из источников представленные в нем данные не отличаются от данных из других источников настолько, чтобы поставить их достоверность под сомнение. В то же время, хотя большинство данных получены для одной транспортной системы и из одного и того же агентства, в них содержится не так много информации, допускающей непосредственное сопоставление.

Все источники подтверждают общие закономерности, связанные с ударами при маневрировании составов. Форма и пиковые значения ударных импульсов в значительной степени зависят от скорости соударения, а также от типа поглощающего аппарата. Наиболее значимым фактором является скорость соударения, однако разница между стандартными (пружинными) и гидравлическими поглощающими аппаратами также хорошо заметна как по абсолютным значениям ускорения, так и по форме ударного импульса. В целом для ударных ускорений наблюдаются одни и те же закономерности независимо от источника, чего и следовало ожидать ввиду тесной зависимости ударного импульса от передаваемой при столкновении кинетической энергии.

В рассмотренных источниках представлено только небольшое число ударных спектров, при этом их форма хорошо согласуется с данными о скорости удара и типом поглощающего аппарата. Только в одном источнике содержатся сведения о форме и длительности ударов. В нем длительность удара (в продольном направлении) вполне обоснованно сопоставлена со скоростью соударения. Также показано, что форма ударного импульса будет близка к полусинусоиде в случае пружинного буфера, а в случае аппарата гидравлического типа близка к трапецеидальной. Этот вывод подтверждается результатами других исследований.

Другой вид ударных воздействий, рассмотренный в источниках, связан с соударениями между вагонами при движении состава в результате стрaгивания, торможения и движения под уклон. Можно сделать вывод, что жесткость ударов связана с видом сцепки и условиями торможения — она будет минимальна для вагонов, имеющих тормозное устройство и жесткую сцепку. Информация о данных видах ударных взаимодействий также представлена в весьма ограниченном объеме, но те данные, что имеются, находятся в хорошем согласии между собой.

Данные о вибрационных воздействиях из разных источников также находятся в хорошем согласии. Разные источники показывают, что изменения вибрации и ее значения зависят от типа транспортного средства и в особенности от типа его подвешивания. В большинстве источников рассматривается вибрация в диапазоне до 30 Гц. Хорошее согласие данных в этом диапазоне обеспечивается даже при том, что их не всегда можно легко сопоставить с качеством системы подвешивания. Единственным источником, данные которого отличаются от других, является [12]. Это может быть объяснено тем, что в нем представлена вибрация в более широком диапазоне частот до 2000 Гц. При уменьшении диапазона анализа данные этого источника становятся сопоставимыми с другими.

Исследование ударных воздействий предполагало проведение вероятностного анализа для определения статистических характеристик ускорения и появления событий. В ряде исследований результаты представлены в виде ударных спектров. Оба подхода являются достаточно обоснованными, но ни одно из указанных представлений нельзя считать исчерпывающим с точки зрения полноты информации. Первый подход позволял идентифицировать появление ударного воздействия. При этом устанавливался некоторый пороговый уровень, при превышении которого начинались сбор и анализ данных. Однако полученные данные могли бы быть применимы для определения жесткости ударов только в том случае, если бы для них была указана частота ударных воздействий. Это было сделано в двух из рассматриваемых исследований, но данные ни одного из них не могут быть использованы для формирования жесткости

тестового ударного воздействия, поскольку не являются репрезентативными для современной практики управления движением по железным дорогам. По результатам статистического анализа значений ускорения можно сделать вывод, что их распределение является негауссовским и асимметричным. Это обусловлено сильным влиянием отдельных экстремально жестких условий воздействия и объясняет большое отношение стандартного отклонения к среднему значению. Поскольку частота экстремально жестких условий невелика, достоверность распределения в области больших значений вибрации также будет низкой. Но ни в одном из источников нет данных о погрешностях проведенного статистического анализа.

Во всех источниках (за исключением [11]) в качестве средства анализа вибрации выбрано построение спектральной плотности мощности ускорения. Это представляется обоснованным при исследовании стационарной вибрации, имеющей место после достижения транспортным средством установившейся скорости движения. Однако данный подход не вполне уместен при анализе нестационарной вибрации, особенно когда возможны ударные воздействия на низких скоростях движения. Простой спектральный анализ сглаживает эффект таких воздействий. Чтобы избежать этого, в некоторых исследованиях помимо построения обычных спектров использовался также режим удержания «пиковых» спектров. Большая разница между спектрами этих двух видов показывает, что рассмотрение данного аспекта весьма важно. В настоящем стандарте в основном представлены спектры, построенные по пиковым значениям ансамбля спектров. Однако воздействия, соответствующие таким спектрам, не наблюдаются в течение длительного времени при перевозке грузов, поэтому вопрос о том, можно ли их использовать в качестве основы для определения жесткости тестовых воздействий в совокупности с частотой ударных событий, нуждается в дополнительной проработке. Данных, имеющихся в рассмотренных источниках, для этого недостаточно. Можно отметить, что пики в спектрах чаще всего встречаются на частотах около 3 Гц и, как правило, в диапазоне между 1 и 5 Гц. Ряд обычно применяемых средств измерений (сочетаний акселерометра с устройством формирования сигнала) не всегда обеспечивает требуемую точность измерений в указанном диапазоне. Из рассмотренных отчетов не всегда ясно, было ли для исследований использовано средство измерений, обеспечивающее необходимую точность. Кроме того, измерения в столь низком диапазоне частот для обеспечения должной статистической точности требуют получения записей большой длительности. В этом отношении ни одно из приведенных исследований нельзя считать вполне удовлетворительным.

6 Описание условий динамических воздействий

Количественное описание условий динамических воздействий не приведено ни в одном из рассмотренных в настоящем стандарте источников. Более того, если бы даже такие данные были приведены, возник бы вопрос о возможности их применения в отношении других систем железнодорожного транспорта. В принципе, при перевозках железнодорожным транспортом существуют три типа воздействий, каждый из которых связан со своим механизмом возбуждения. Первый тип — удары, имеющие место при маневрировании состава, второй — удары при движении состава вследствие межвагонных столкновений, третий — вибрация, возникающая при движении транспортного средства по рельсовому пути. Исследования показали, что реальная жесткость для всех трех типов воздействий зависит от особенностей работы системы железнодорожного транспорта и качества вагонов.

Жесткость ударов в продольном направлении, появляющихся при маневрировании состава, зависит от скорости столкновения, а также от типа используемого поглощающего аппарата. Для вагона с пружинным амортизатором характерно максимальное пиковое значение ускорения при форме удара, близкой к полусинусоиде. Использование гидравлического амортизатора позволяет смягчить ударное воздействие в большей степени, но за счет заметного увеличения длительности ударного импульса. В этом случае форма импульса близка к трапецеидальной. Для поглощающего аппарата любого типа пиковое значение и длительность импульса сильно зависят от скорости соударения. Отмечено, что ускорение в вертикальном направлении приблизительно в 1,5 раза выше, чем в продольном (это зависит от высоты центра тяжести перевозимого груза относительно поглощающего аппарата), но при этом длительность импульса короче и составляет около 10 мс. Импульсы в поперечном направлении имеют приблизительно те же пиковые значения, что и в продольном, а их длительность составляет около 20 мс.

Основным параметром, определяющим жесткость ударного воздействия при маневрировании, является скорость соударения в продольном направлении. Этот параметр непосредственно связан с практикой работ в конкретной системе железнодорожного транспорта. По-видимому, максимальная скорость столкновения имеет место, когда одиночный вагон сталкивают с другим для ускорения процедуры маневрирования. Это является обычной практикой при перевозке минерального сырья, но не

применяется, если транспортировке подлежит какой-либо ценный груз. В [10] приведены результаты давних исследований, когда скорость соударения достигала 15 км/ч, а в [1] указаны скорости соударения до 20 км/ч. В более современных исследованиях, проведенных на территории США, рассматриваются соударения со скоростью до 11 км/ч. Современная практика маневрирования характеризуется тем, что вагоны (как правило, снабженные поглощающими аппаратами гидравлического типа) остаются сцепленными с локомотивом или с другими вагонами. В этом случае скорости соударения будут много ниже и составлять до 3 км/ч (хотя надежные источники информации, которые могли бы обосновать данную оценку, отсутствуют). Существует и такой вариант, когда вагоны остаются постоянно на своих местах, и их перестроение не допускается. Такая практика является нормативной для стран Западной Европы, а также для некоторых других стран мира.

В целом имеющиеся данные позволяют определить ударные ускорения для конкретных скоростей соударения и разных типов поглощающих аппаратов. Но при этом остается проблема определения реальных скоростей соударения. Очевидно, что практика некоторых систем железнодорожного транспорта не допускает подобных столкновений вовсе, в то время как в других допускаются соударения при сцеплении вагонов на низкой скорости. В некоторых системах более не используются транспортные средства с пружинными амортизаторами за исключением вагонов, предназначенных для перевозок минерального сырья.

Соударения между вагонами при движении железнодорожного состава имеют больший эффект при нежесткой сцепке. Для случаев жесткой сцепки ударные воздействия можно вообще не рассматривать, а ограничиться только исследованием воздействия вибрации. Кроме того, ударные воздействия при транспортировании грузов смягчаются при использовании гидравлических амортизаторов вместо пружинных. В большинстве случаев ударные ускорения для воздействия данного типа не превышают 1 *g*. Жесткость воздействия минимальна для вагонов с тормозной системой и жесткой сцепкой, и такое сочетание в последние годы становится нормой. В некоторых системах железнодорожного транспорта более не допускается использование железнодорожных составов с нежесткой сцепкой за исключением, возможно, случаев перевозки минерального сырья.

В исследованиях отмечается, что вибрация на железнодорожном транспорте зависит от системы подвешивания вагонов. Наиболее жесткие условия воздействия имеют место для вагонов с простыми пружинными амортизаторами. Такие вагоны могут быть использованы для перевозки минерального сырья, однако транспортирование более ценных грузов требует применения более совершенной подвески. В любом случае преобладающей является низкочастотная вибрация, сосредоточенная преимущественно в диапазоне от 2 до 3 Гц, и в большинстве отчетов указывается, что практически вся вибрационная энергия сосредоточена в диапазоне ниже 30 Гц. Пиковые значения спектральной плотности мощности ускорения достигают значения 0,4 g^2/Гц. Обычно наблюдаемая вибрация максимальна вдоль вертикальной оси. Чуть ниже вибрация в поперечном направлении. Что касается вибрации в продольном направлении, то она значительно ниже двух остальных.

Обзор данных, приведенных в отчетах, не позволяет с определенностью подтвердить их выводы о том, как именно влияет система подвешивания вагона на передаваемую вибрацию. Почти все пики отклика лежат в диапазоне от 1 до 5 Гц независимо от типа подвески. Из этого можно предположить, что собственная частота подвески слабо влияет на отклик. Вибрация в данном диапазоне частот практически полностью определяется качеством рельсового пути, а не характеристиками вагона. Можно ожидать, что улучшенная система подвешивания в большей степени ослабляет высокочастотную вибрацию и служит защитой от ударов.

7 Сопоставление с МЭК 60721-3-2:1997

На рисунках 38, 40 и 42 показаны жесткости вибрационного воздействия, определенные в МЭК 60721-3-2:1997 для стационарной случайной вибрации [таблица 5, категория b)], для стационарной гармонической вибрации [таблица 5, категория a)] и для нестационарной вибрации [таблица 5, категория c)] соответственно для всех видов транспортирования безотносительно вида транспортного средства. Поскольку стандарт характеризует общие условия внешних воздействий, в нем отсутствуют рекомендации по продолжительности или по числу тестовых воздействий.

В стандартах серии [15] содержатся уровни тестовых воздействий вибрации и удара для имитирования условий транспортирования, и эти уровни отличаются от установленных в МЭК 60721-3-2:1997. Жесткости воздействия по [15] показаны на рисунках 39, 41 и 43 соответственно для стационарной

случайной вибрации, стационарной гармонической вибрации и ударов. При этом определены длительность тестового воздействия вибрации и число прилагаемых ударов.

Поскольку в МЭК 60721-3-2:1997 и [15] установлены разные уровни воздействия, вопросы согласования этих двух документов решаются в [17]. В нем рекомендуется при моделировании вибрационных воздействий обращаться к [15]. Однако для случаев ударных воздействий в [17] в качестве решения предложен третий вариант, показанный на рисунке 44.

В МЭК 60721-3-2:1997 введены три класса транспортных средств, обозначенных 2М1, 2М2 и 2М3, с весьма кратким пояснением, как именно осуществляется классификация. Тем не менее в отношении железнодорожных транспортных средств можно считать, что:

- 2М1 включает в себя транспортные средства с нежесткой подвеской;
- 2М2 включает в себя транспортные средства с нежесткой подвеской и амортизаторами специальной конструкции для смягчения ударов;
- 2М3 включает в себя транспортные средства с жесткой подвеской, включая жесткие поглощающие аппараты.

Результаты исследований, рассмотренные в настоящем стандарте, показывают, что подобная классификация не отвечает потребностям сегодняшнего дня. По умолчанию условия транспортирования предлагается относить к категории 2М3 и использовать категорию 2М2 только для особых случаев. Однако сегодня в большинстве систем железнодорожного транспорта используют вагоны с жесткой автосцепкой, нежесткой подвеской и гидравлическими буферными устройствами. В большинстве систем ограничены скорости соударений при маневрировании, а в некоторых такие соударения исключены полностью. Поэтому в настоящее время более реалистично относить условия транспортирования по умолчанию к классу 2М2.

Разделение в МЭК 60721-3-2:1997 жесткости воздействия по трем категориям (стационарная случайная вибрация, стационарная гармоническая вибрация и нестационарная вибрация, включая удары) отличается от жесткостей воздействия, предусмотренных процедурами испытаний по [15]. В МЭК 60721-3-2:1997 два стационарных тестовых воздействия (случайное и гармоническое) рассматриваются в качестве альтернатив. Ниже рассматривается, насколько указанное разделение по категориям обосновано с точки зрения сегодняшних представлений о реальных динамических воздействиях на железнодорожном транспорте и возможностей современного испытательного оборудования.

1. Случайная вибрация. В качестве тестовых динамических воздействий обычно выбирают гауссовские случайные процессы (хотя ни одно из рассматриваемых в настоящем стандарте исследований не дает оснований для этого). Из двух вариантов тестовых вибрационных воздействий этот представляется наиболее реалистичным. Однако при этом нижняя граница диапазона частот испытаний приходится на верхнюю границу диапазона, в котором сосредоточена максимальная энергия вибрации на железнодорожном транспорте. На нижней границе диапазона частот испытаний амплитуды перемещения и скорости вибрации много ниже тех, что наблюдаются на практике. Таким образом, данное испытание неспособно воспроизвести условия эксплуатации, приводящие к повреждениям тех видов, что связаны с большими значениями скорости или перемещения. В то время, когда составлялись стандарты на испытания, возможности воспроизведения больших перемещений и скоростей были весьма ограниченными. Однако эти ограничения могут быть преодолены с помощью современного испытательного оборудования.

2. Гармоническая вибрация. В то время, когда составлялись технические условия на испытания данного вида, уже имелось понимание того, что в условиях эксплуатации динамические воздействия носят преимущественно случайный характер. Исторически испытания на гармоническую вибрацию с качанием частоты предшествовали испытаниям на случайные воздействия, поэтому продолжение их применения позволяет использовать устаревшее испытательное оборудование. Одно из принципиальных различий между испытаниями на случайную и гармоническую вибрацию состоит в том, что в первом случае диапазон частот испытаний составляет от 10 до 2000 Гц, а во втором — от 1 до 500 Гц. Если сравнивать результаты этих двух испытаний, используя какой-нибудь стандартный метод (например, метод максимума ударного спектра или спектра усталостных повреждений), разница в результатах будет весьма заметной. Указанные испытания можно считать эквивалентными с точки зрения создаваемых повреждений только для очень ограниченного класса оборудования.

3. Удар. В испытаниях на удар применяют удар классической формы в виде полусинусоиды. Он может быть представительным для ряда переходных процессов, в действительности наблюдаемых на практике. В то же время в ряде случаев более подходящими могут быть испытания с использованием импульсов трапецеидальной формы. Длительности ударов, применяемые в испытаниях, непредставительны с точки зрения воздействий, наблюдаемых при столкновении вагонов, в продольном

направлении, хотя их можно считать представительными для ударов в вертикальном и поперечном направлениях.

Уровни вибрации, установленные в МЭК 60721-3-2:1997 и [15], не являются представительными ни с точки зрения реальных воздействий на железнодорожном транспорте, ни с точки зрения исследования потенциальных повреждений испытуемого оборудования. Так, существенно более жесткая вибрация имеет место на железнодорожном транспорте в диапазоне от 1 до 5 Гц. При описании условий воздействия по МЭК 60721-3-2:1997 и испытаний по [15] диапазон случайной вибрации не опускается ниже 10 Гц и, следовательно, не охватывает диапазон, в котором на практике сосредоточена максимальная энергия вибрации. Более того, если уровни тестовых воздействий экстраполировать на область низких частот вплоть до 1 Гц, то они будут существенно ниже встречающихся в реальных условиях транспортирования. Испытания на гармоническую вибрацию проводят в более низком диапазоне частот (по МЭК 60721-3-2:1997 нижняя граница диапазона составляет 2 Гц, а по [15] — 1 Гц). Потенциально это позволяет охватить диапазон реальных воздействий на железнодорожном транспорте.

Уровни пиковых значений удара, установленные в МЭК 60721-3-2:1997 и [15], также не являются представительными ни с точки зрения реальных воздействий на железнодорожном транспорте, ни с точки зрения исследования потенциальных повреждений испытуемого оборудования. Наиболее заметно это проявляется при описании формы ударного импульса и его длительности при ударах в продольном направлении. Длительность таких ударов в реальных условиях много выше той, что предлагается в МЭК 60721-3-2:1997 и [15]. Эта длительность велика настолько, что может сделать неэффективными применяемые стандартные средства защиты от вибрации и ударов.

Хотя никаких исследований по обоснованию выбора эквивалентной длительности испытаний не проводилось, из общих соображений следует, что она должна быть значительно меньшей, чем длительность реального воздействия. Это связано не с желанием ускорить проведение испытаний, а с разнообразием возможных условий транспортирования.

8 Заключение

В настоящем стандарте рассмотрены данные надлежащего качества, полученные из пяти источников. Кроме того, использованы данные еще из трех источников, что позволяет охватить широкий диапазон условий воздействий вибрации и удара для разных видов железнодорожного транспорта. Информация собрана по результатам исследований, проведенных для трех национальных систем железнодорожного транспорта, хотя большая часть ее относится к транспортной системе США. Дополнительные данные собраны из источников, также пользующихся хорошей репутацией, но этих данных недостаточно для проверки и подтверждения их качества.

По большей части данные из каждого источника хорошо согласуются не только между собой, но и с аналогичными данными других источников. Ни для одного из источников не обнаружено выпадающих результатов наблюдений до такой степени, чтобы поставить качество данных под сомнение. Однако ясно, что рассмотренные данные не дают полного представления о возможных динамических воздействиях на железнодорожном транспорте.

Хотя рассмотренные данные позволяют разработать типовые тестовые воздействия, очевидно, что реальные условия транспортирования сильно зависят от качества транспортных средств и методов обслуживания рельсового пути. В последние годы качество такого обслуживания существенно улучшилось, что непосредственно сказалось на условиях динамических воздействий на перевозимые грузы.

Жесткость воздействия для стационарной случайной вибрации, установленная в МЭК 60721-3-2:1997 [таблица 5, категория b)], охватывает все условия транспортирования, включая перевозку железнодорожным транспортом. Однако, по-видимому, эти тестовые воздействия существенно отличаются от наблюдаемых на практике. То же самое можно сказать в отношении жесткости ударных воздействий, установленных в МЭК 60721-3-2:1997 [таблица 5, категория c)].

Собранные данные обнаруживают глубокое различие с условиями воздействий, определенных в МЭК 60721-3-2:1997 и [15], а именно:

а) уровни вибрации, определенные в МЭК 60721-3-2:1997, непредставительны для воздействий, наблюдаемых на железнодорожном транспорте. Особенно это заметно для диапазона от 1 до 5 Гц, для которого уровни реальной вибрации много выше. Диапазон случайной вибрации по МЭК 60721-3-2:1997 не опускается ниже 10 Гц, что также не характерно для вибрации железнодорожного транспорта. Но даже если экстраполировать уровень вибрации в область низких частот до 1 Гц, то он будет существенно ниже наблюдаемого в реальных условиях. Диапазон гармонической вибрации в МЭК 60721-3-2:1997

начинается с 2 Гц, что в большей степени соответствует реальным условиям. Уровни гармонической вибрации по МЭК 60721-3-2:1997 также ближе к тем, что наблюдаются на практике;

b) пиковые значения и длительности ударов, определенные в МЭК 60721-3-2:1997, непредставительны для воздействий, наблюдаемых на железнодорожном транспорте при столкновении вагонов во время маневрирования состава. Наиболее существенна разница в форме и длительности импульса в случае ударов в продольном направлении. В реальных условиях длительность таких ударов много больше той, что определена в МЭК 60721-3-2:1997;

c) описание воздействий в МЭК 60721-3-2:1997 неадекватно с точки зрения прогнозирования возможных повреждений при перевозке железнодорожным транспортом. В то же время ясно, что не всем пользователям МЭК 60721-3-2:1997 требуется проведение исследований механизмов повреждений в полном объеме. Такие исследования особенно важны для оборудования с низкочастотными резонансами (какие появляются, например, при использовании упругих приспособлений для защиты от вибрации и ударов), попадающими в характерную область частот динамических воздействий на железнодорожном транспорте. В частности, под эту категорию подпадает практически все оборудование, транспортируемое в упакованном состоянии;

d) при отсутствии достаточной информации об условиях транспортирования принято относить их к классу 2М3, а классы 2М2 и 2М1 использовать только в особых случаях. Это может быть оправдано в историческом аспекте. Однако для большинства современных систем железнодорожного транспорта при перевозке товаров принято использовать только жесткую сцепку вагонов, нежесткую подвеску вагонов и гидравлические поглощающие аппараты. Применение нежесткой сцепки и жесткой подвески допускают обычно только для перевозки минерального сырья. Только в некоторых системах допускают соударения вагонов при маневрировании, в большинстве же систем скорость таких соударений ограничена весьма низкими значениями. Поэтому для случаев транспортирования товаров железнодорожным транспортом более уместно применять класс 2М2, а в случае транспортирования системой, исключающей столкновения при маневрировании, даже 2М1.



Рисунок 1 — Жесткость вибрации в вертикальном направлении (Британские железные дороги)

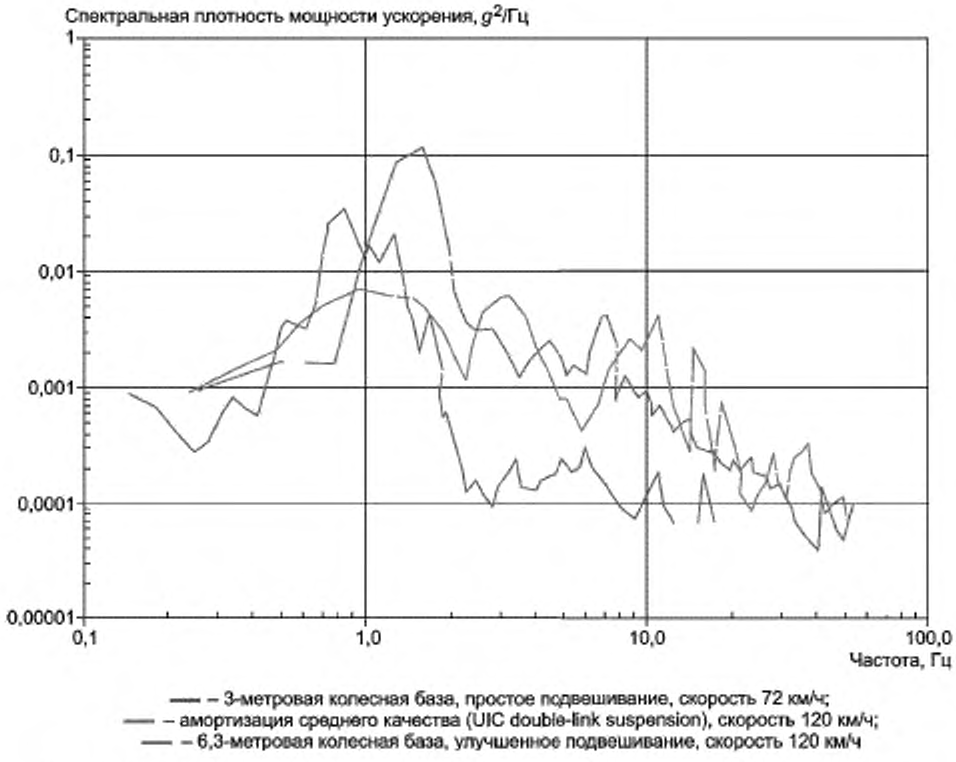
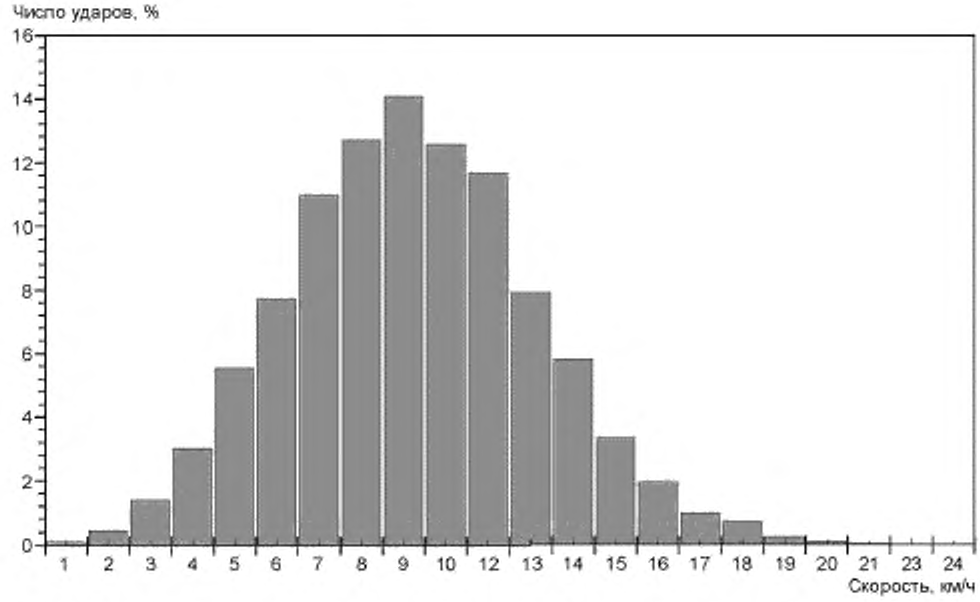


Рисунок 2 — Жесткость вибрации в поперечном направлении (Британские железные дороги)

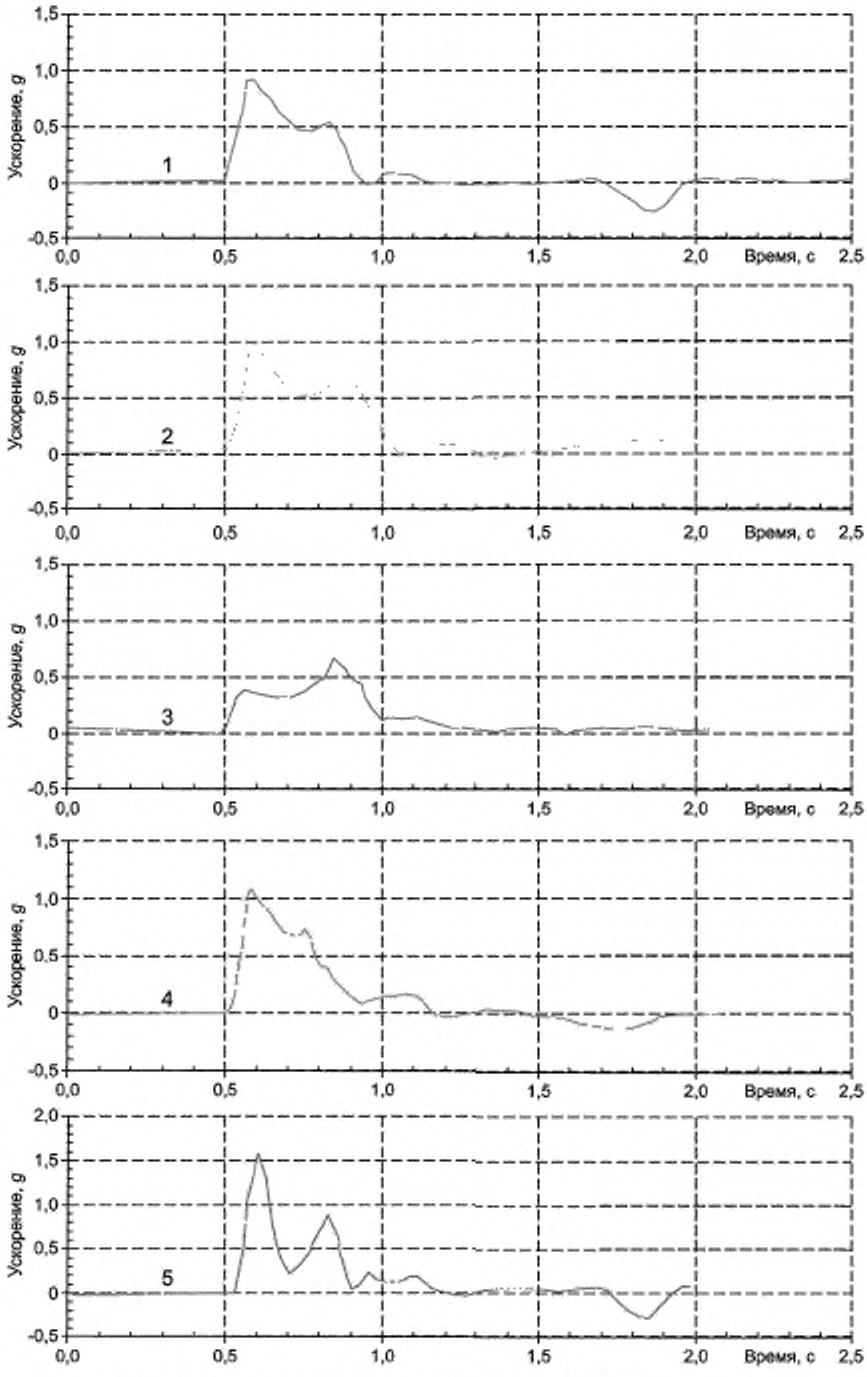
Таблица 1 — Результаты измерений амплитуд *a* максимальной вибрации (Британские железные дороги)

Точка измерений	*a*, *g*		Частота максимальной вибрации, Гц	Скорость движения, км/ч
	Среднее	Максимальное		
В вертикальном направлении				
Контейнерный состав (движение по автодороге)	0,2	0,9	От 3 до 4	72
Контейнерный состав (движение по железной дороге)	0,25	0,8	От 3 до 5	120
Двухосный вагон, простое подвешивание	0,45	1,6	От 3 до 6	72
Двухосный вагон, улучшенное подвешивание	0,15	0,75	От 3 до 4	120
В поперечном направлении				
Контейнерный состав (движение по автодороге)	0,04	0,4	От 4 до 12	72
Контейнерный состав (движение по железной дороге)	0,2	0,45	От 3 до 5	120
Двухосный вагон, простое подвешивание	0,25	1,0	От 1 до 2	72
Двухосный вагон, улучшенное подвешивание	0,1	0,5	От 0,75 до 1,75	120



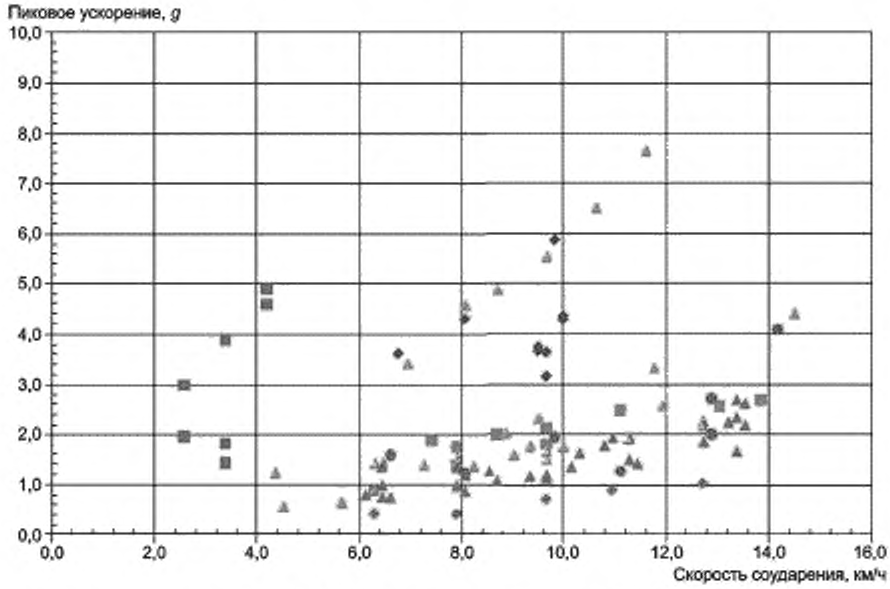
Примечание — Гистограмма построена по выборке из 22 246 ударов, средняя скорость удара — 9,5 км/ч.

Рисунок 3 — Распределение скоростей столкновения (Британские железные дороги)



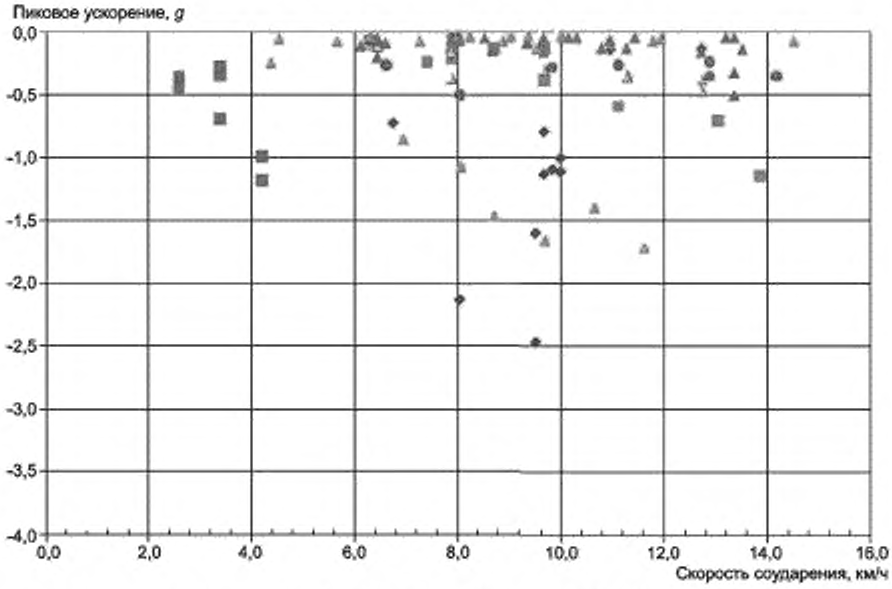
1 – M921D в M921D, скорость соударения 9,78 км/ч; 2 – M921D в M921, скорость соударения 9,63 км/ч; 3 – M921 в M921, скорость соударения 9,62 км/ч; 4 – M921 в стандартный аппарат, скорость соударения 9,65 км/ч; 5 – M921 в стандартный аппарат, скорость соударения 9,60 км/ч

Рисунок 4 — Измерения ударов в продольном направлении (Американские железные дороги)



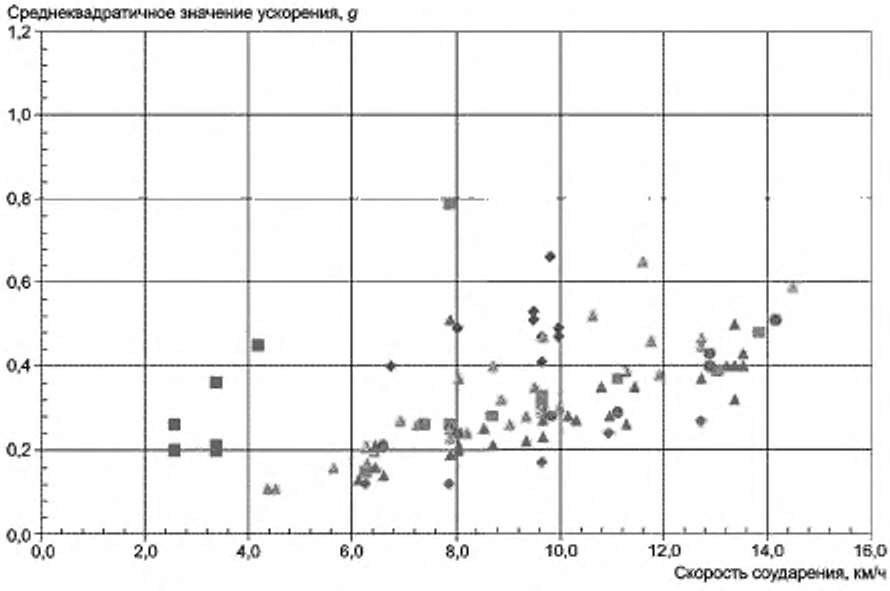
◆ – два стандартных аппарата; ▩ – M921 в стандартный аппарат; △ – M921D в стандартный аппарат; ◈ – M921 в M921; ▲ – M921D в M921; ● – M921D в M921D; ▲ – два поглощающих аппарата неизвестного типа; ■ – жесткое столкновение упряжи

Рисунок 5 — Измерения ударов (положительное ускорение) в продольном направлении (Американские железные дороги)



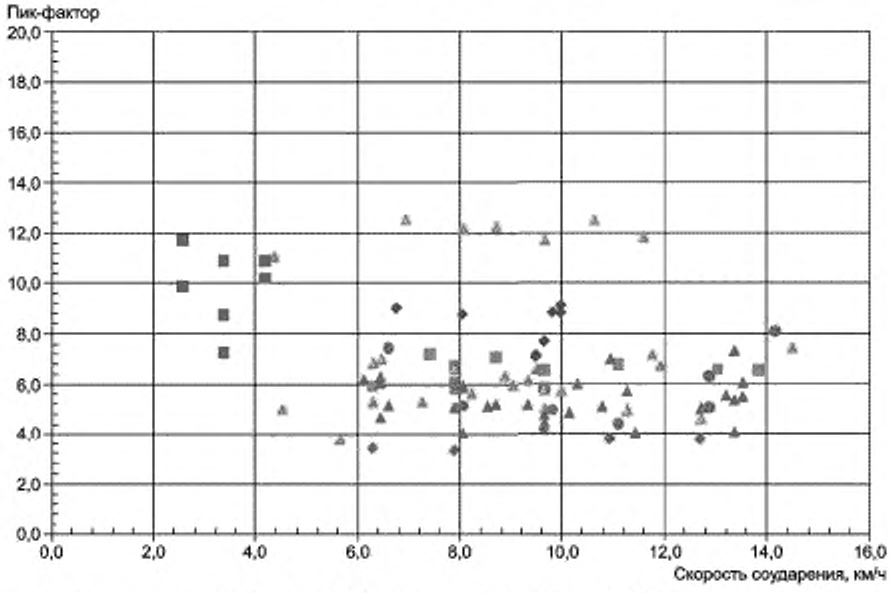
◆ – два стандартных аппарата; ▩ – M921 в стандартный аппарат; ◦ – M921D в стандартный аппарат; ◈ – M921 в M921; ▲ – M921D в M921; ● – M921D в M921D; ▲ – два поглощающих аппарата неизвестного типа; ■ – жесткое столкновение упряжи

Рисунок 6 — Измерения ударов (отрицательное ускорение) в продольном направлении (Американские железные дороги)



◆ – два стандартных аппарата; ■ – M921 в стандартный аппарат; ▲ – M921D в стандартный аппарат; ◆ – M921 в M921; ▲ – M921D в M921; ● – M921D в M921D; ▲ – два поглощающих аппарата неизвестного типа; ■ – жесткое столкновение упряжи

Рисунок 7 — Измерения ударов (среднеквадратичное значение ускорения) в продольном направлении (Американские железные дороги)



◆ – два стандартных аппарата; ■ – M921 в стандартный аппарат; ▲ – M921D в стандартный аппарат; ◆ – M921 в M921; ▲ – M921D в M921; ● – M921D в M921D; ▲ – два поглощающих аппарата неизвестного типа; ■ – жесткое столкновение упряжи

Рисунок 8 — Измерения ударов (пик-фактор) в продольном направлении (Американские железные дороги)

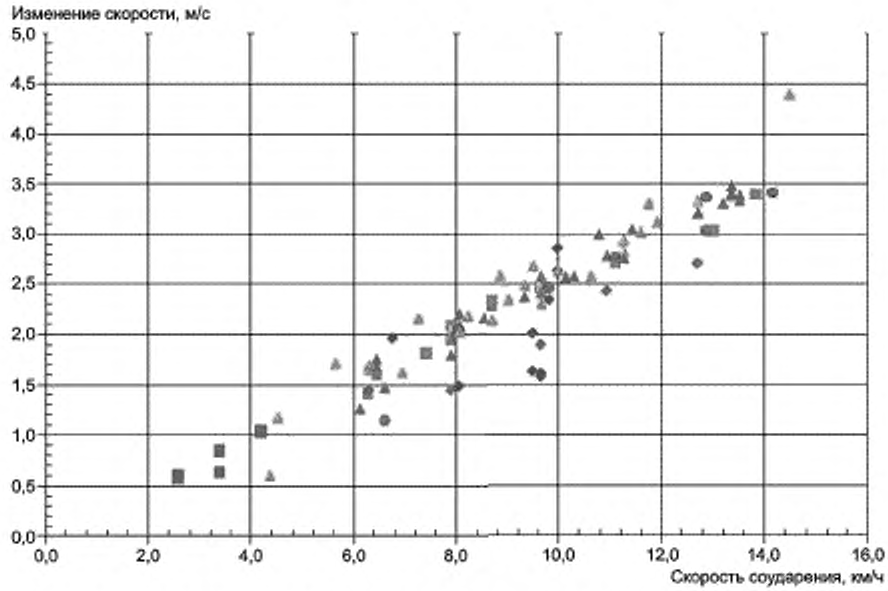


Рисунок 9 — Измерения ударов (изменение скорости) в продольном направлении (Американские железные дороги)

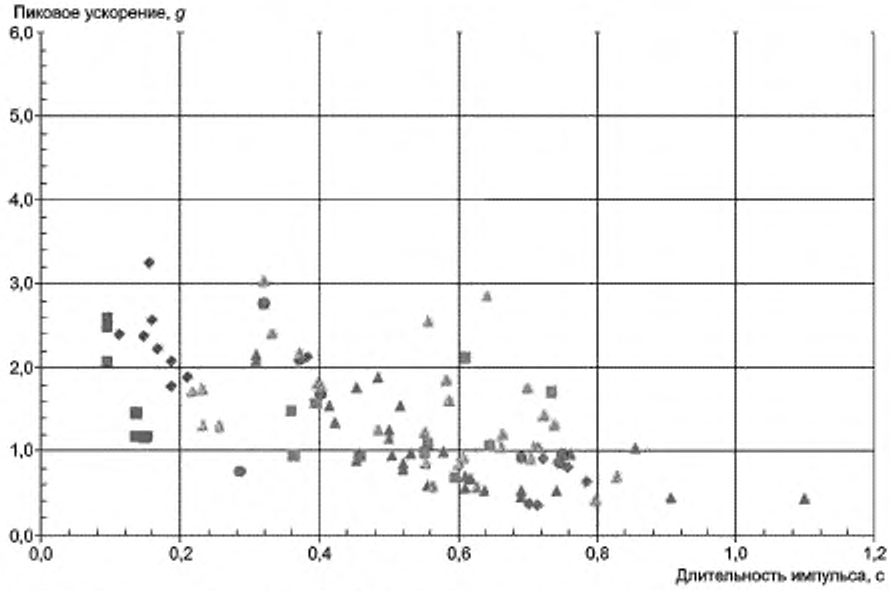


Рисунок 10 — Измерения ударов (пиковое ускорение) в продольном направлении (Американские железные дороги)

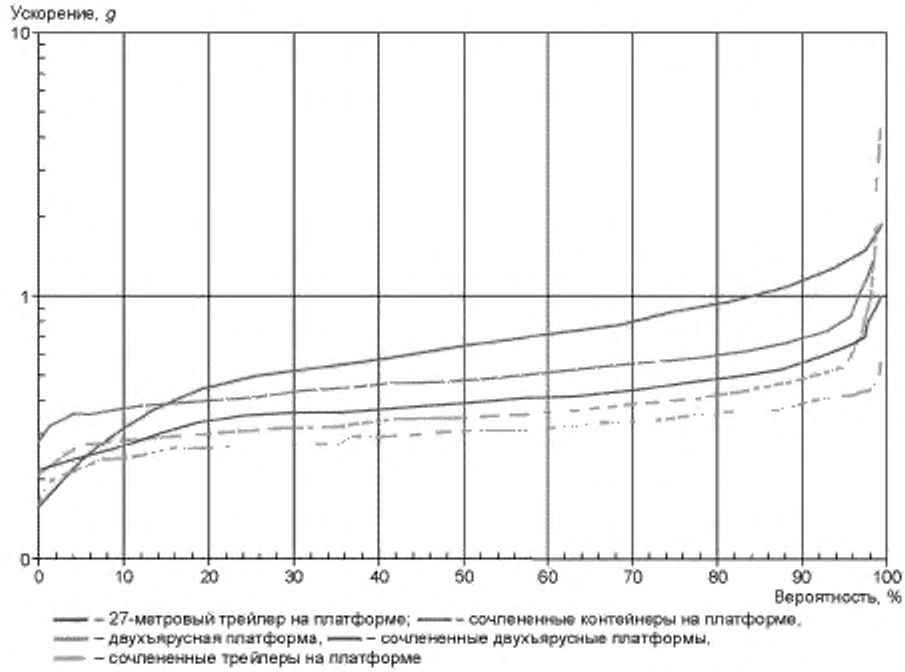


Рисунок 11 — Распределение ускорения в продольном направлении при смешанных перевозках (Американские железные дороги)

Таблица 2 — Распределение ударных ускорений в продольном направлении для смешанных перевозок (Американские железные дороги)

Тип оборудования и вид перевозок		Квантиль ускорения, %			Пиковое ускорение, g
		< 0,3 g	< 0,5 g	< 1,0 g	
Железнодорожные перевозки	27-метровый трейлер на платформе	9,2	24,5	82,9	1,92
	Сочлененные контейнерные платформы	0,3	52,0	97,3	6,66
	Двухъярусная платформа	14,7	89,9	98,5	4,13
	Сочлененные двухъярусные платформы	14,3	82,7	99,9	1,03
	Сочлененные трейлерные платформы	44,4	99,4	100	0,64
Дорожные перевозки	Междугородние	16,8	64,7	99,2	1,12
	По автострадам	44,4	94,8	100	0,82
	Внутригородские	56,1	94,8	99,9	1,35

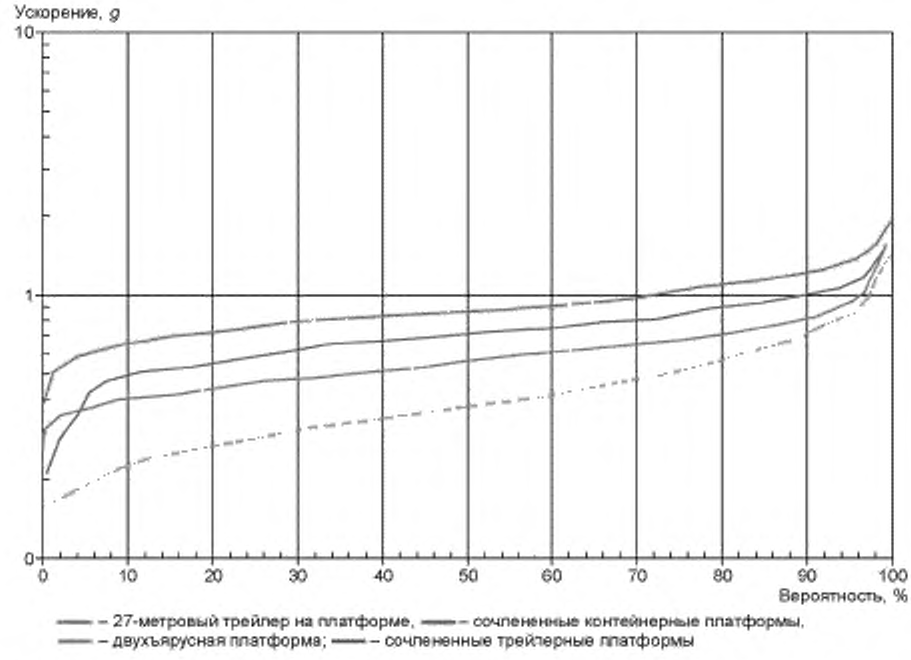


Рисунок 12 — Распределение ускорения в поперечном направлении при смешанных перевозках (Американские железные дороги)

Таблица 3 — Распределение ударных ускорений в поперечном направлении для смешанных перевозок (Американские железные дороги)

Тип оборудования и вид перевозок		Квантиль ускорения, %			Пиковое ускорение, g
		< 0,3 g	< 0,5 g	< 1,0 g	
Железнодорожные перевозки	27-метровый трейлер на платформе	1,4	69,5	97,0	1,76
	Сочлененные контейнерные платформы	28,6	96,7	99,8	1,69
	Двухъярусная платформа	0,5	63,7	97,9	2,20
	Сочлененные трейлерные платформы	7,8	86,6	99,8	1,55
Дорожные перевозки	Междугородние	4,5	60,0	92,8	3,22
	По автострадам	6,3	78,7	97,3	2,28
	Внутригородские	17,7	78,7	95,9	2,97

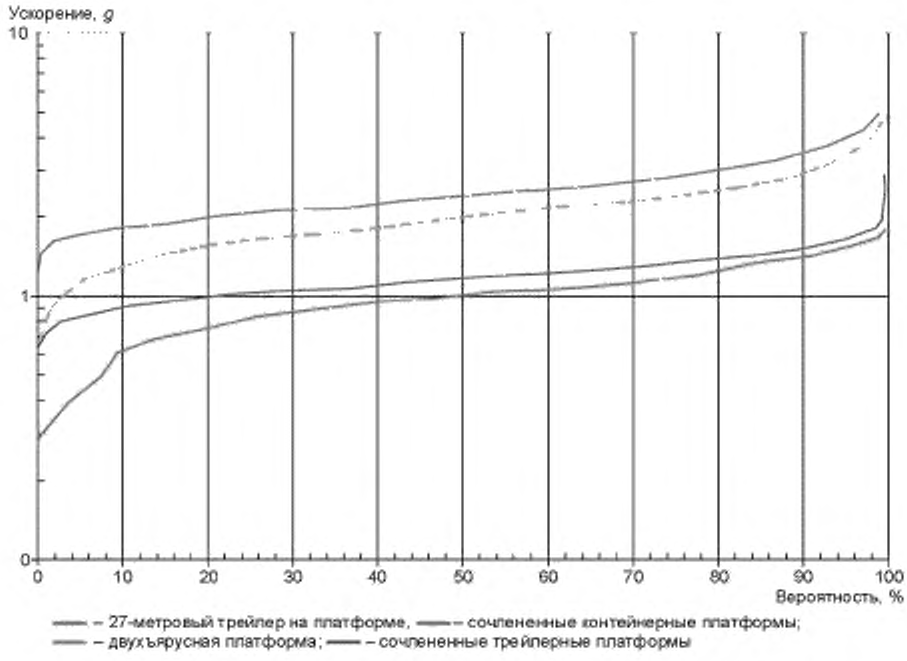


Рисунок 13 — Распределение ускорения в вертикальном направлении при смешанных перевозках (Американские железные дороги)

Таблица 4 — Распределение ускорения в вертикальном направлении при смешанных перевозках (Американские железные дороги)

Тип оборудования и вид перевозок		Квантиль ускорения, %			Пиковое ускорение, g
		< 0,3 g	< 0,5 g	< 1,0 g	
Железнодорожные перевозки	27-метровый трейлер на платформе	95,8	100	100	1,72
	Сочлененные контейнерные платформы	0,8	82,1	99,2	6,17
	Двухъярусная платформа	15,3	90,0	99,3	6,06
	Сочлененные трейлерные платформы	90,4	100	100	2,87
Дорожные перевозки	Междугородние	8,4	69,8	99,3	5,14
	По автострадам	6,5	91,1	94,4	5,58
	Внутригородские	20,2	90,0	98,3	8,32

Таблица 5 — Результаты измерений ударов при смешанных перевозках (Американские железные дороги)

Тип оборудования и виды перевозок		Продольное направление			Поперечное направление			Вертикальное направление		
		Среднее	Стандартное отклонение	Усредненное с.к.з.	Среднее	Стандартное отклонение	Усредненное с.к.з.	Среднее	Стандартное отклонение	Усредненное с.к.з
Железнодорожные перевозки	27-метровый трейлер на платформе	0,31	0,2	0,09	0,2	0,15	0,08	0,4	0,15	0,18
	Сочлененные контейнерные платформы	0,29	0,23	0,08	0,32	0,1	0,09	1,3	0,34	0,38
	Двухъярусная платформа	0,22	0,17	0,06	0,46	0,12	0,015	1,05	0,36	0,3
	Сочлененные трейлерные платформы	0,16	0,04	0,06	0,38	0,12	0,17	0,6	0,13	0,21
Дорожные перевозки	Междугородние	0,27	0,07	0,08	0,51	0,19	0,15	1,14	0,32	0,34
	По автострадам	0,16	0,05	0,04	0,42	0,17	0,11	1,11	0,34	0,3
	Внутригородские	0,14	0,06	0,04	0,42	0,18	0,11	1,03	0,44	0,26

Таблица 6 — Результаты измерений вибрации при смешанных перевозках (Американские железные дороги)

Тип оборудования и виды перевозок		Продольное направление			Поперечное направление			Вертикальное направление		
		Среднее	Стандартное отклонение	Усредненное с к.з	Среднее	Стандартное отклонение	Усредненное с к.з	Среднее	Стандартное отклонение	Усредненное с к.з
Железно-дорожные перевозки	Сочлененные контейнерные платформы	0,11	0,12	0,03	0,19	0,1'	0,06	0,47	0,30	0,14
	Двухъярусная платформа	0,09	0,14	0,04	0,25	0,17	0,09	0,40	0,27	0,12
	Сочлененные трейлерные платформы	0,08	0,05	0,03	0,12	0,09	0,04	0,28	0,17	0,10
Дорожные перевозки	Междугородние	0,11	0,06	0,03	0,31	0,16	0,09	0,67	0,40	0,20
	По автострадам	0,09	0,05	0,03	0,30	0,18	0,09	0,54	0,54	0,16
	Внутригородские	0,07	0,05	0,02	0,16	0,13	0,04	0,38	0,38	0,12

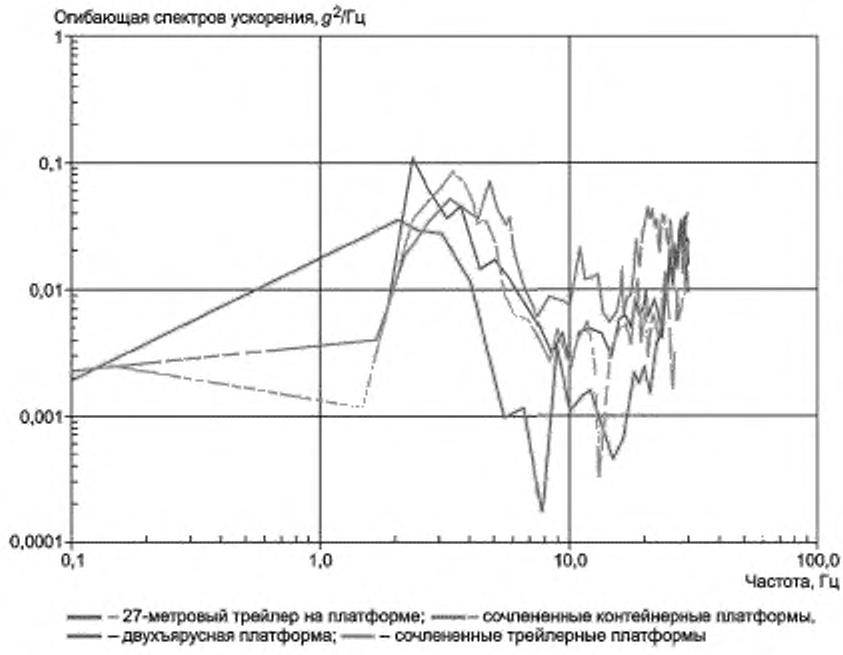


Рисунок 14 — Огибающие спектров для вибрации в вертикальном направлении при смешанных перевозках (Американские железные дороги)

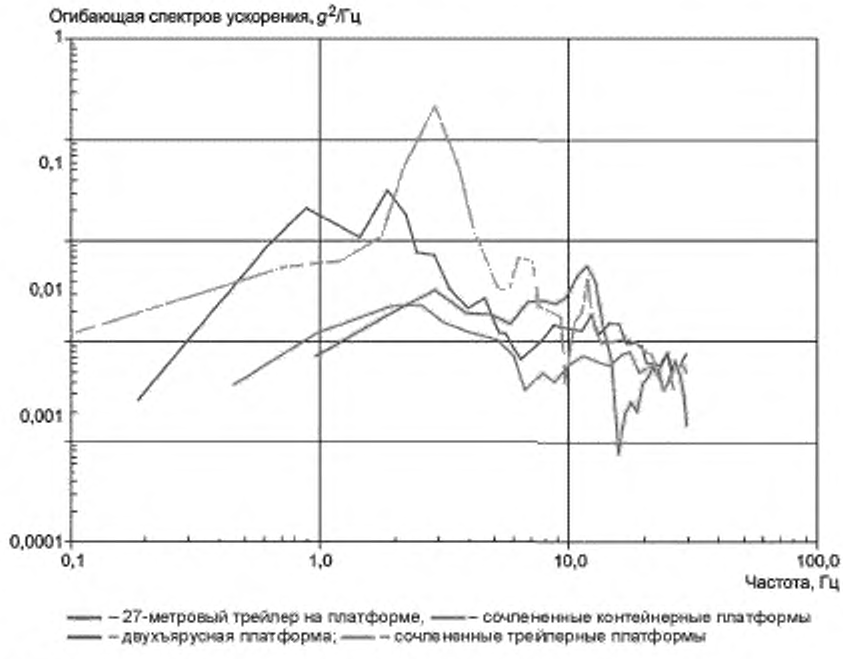


Рисунок 15 — Огибающие спектров для вибрации в поперечном направлении при смешанных перевозках (Американские железные дороги)

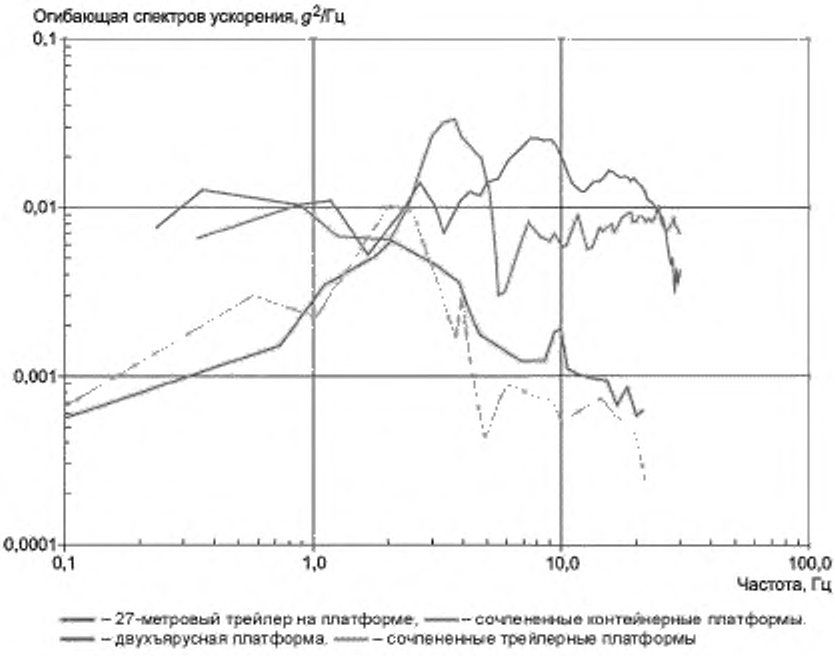


Рисунок 16 — Огибающие спектров для вибрации в продольном направлении при смешанных перевозках (Американские железные дороги)

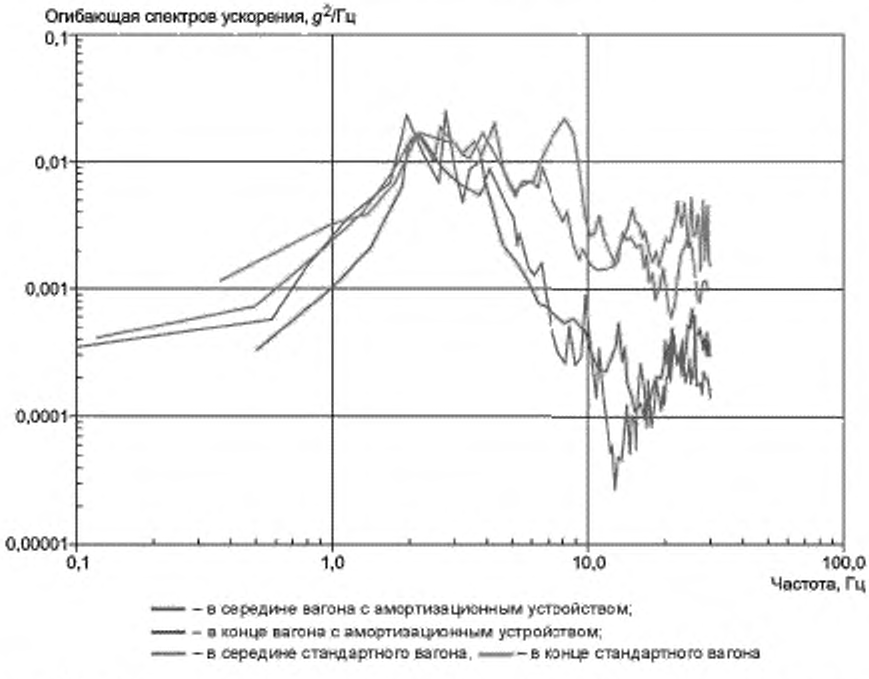


Рисунок 17 — Огибающие спектров для вибрации товарных вагонов в вертикальном направлении (Американские железные дороги)

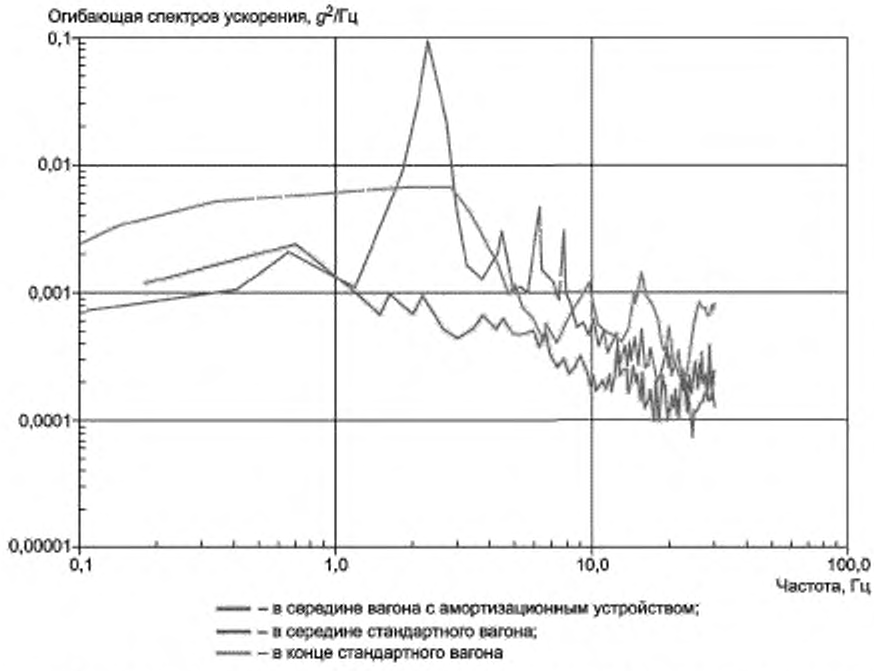


Рисунок 18 — Огибающие спектров для вибрации товарных вагонов в поперечном направлении (Американские железные дороги)

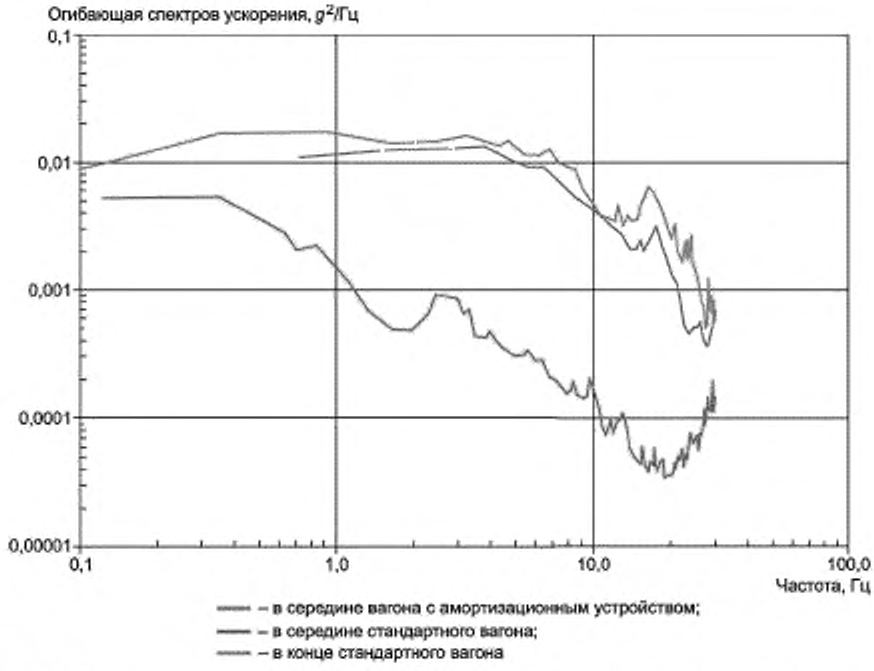


Рисунок 19 — Огибающие спектров для вибрации товарных вагонов в продольном направлении (Американские железные дороги)

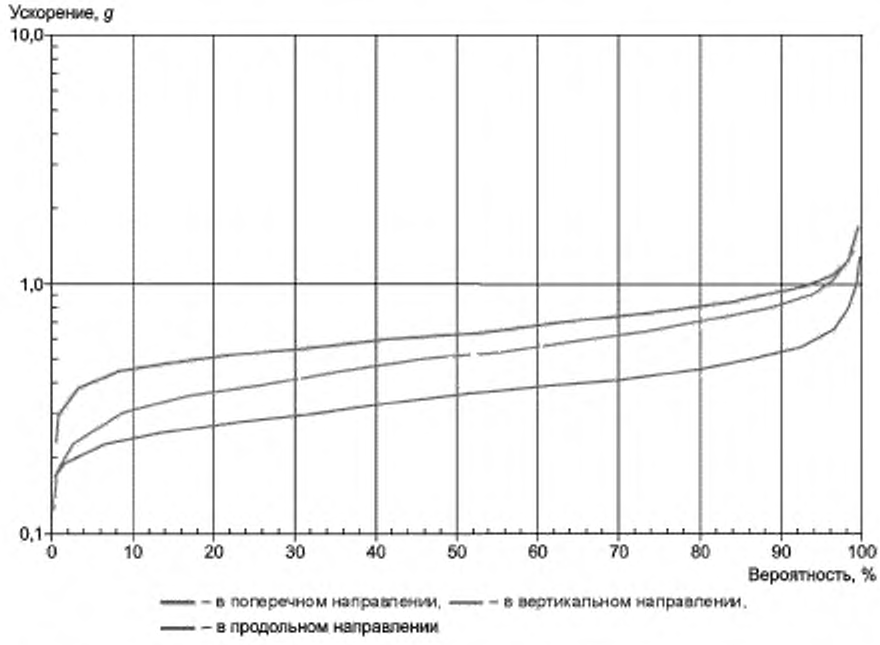


Рисунок 20 — Распределение ускорения в середине вагона с амортизационным устройством (Американские железные дороги)

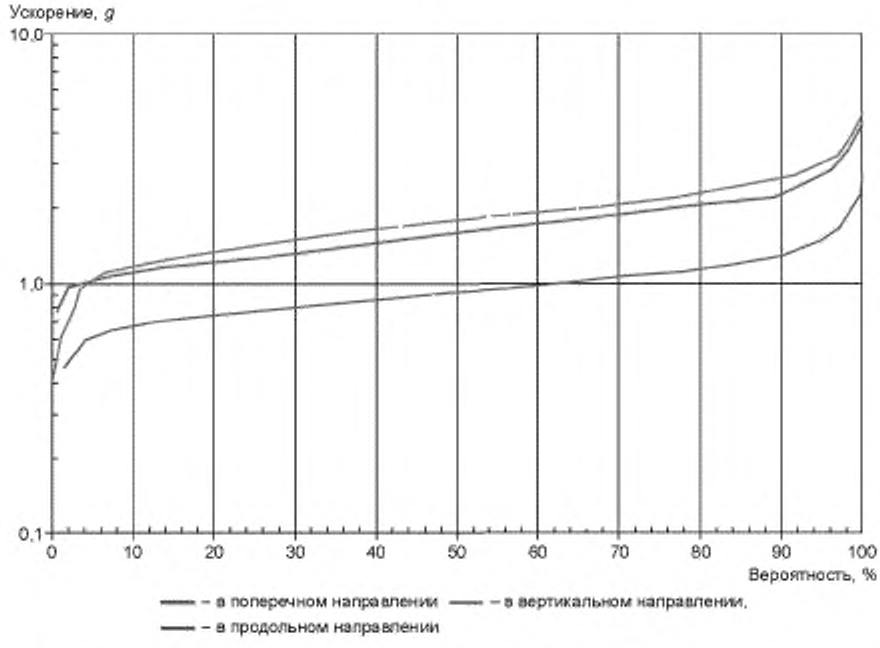


Рисунок 21 — Распределение ускорения в конце вагона с амортизационным устройством (Американские железные дороги)

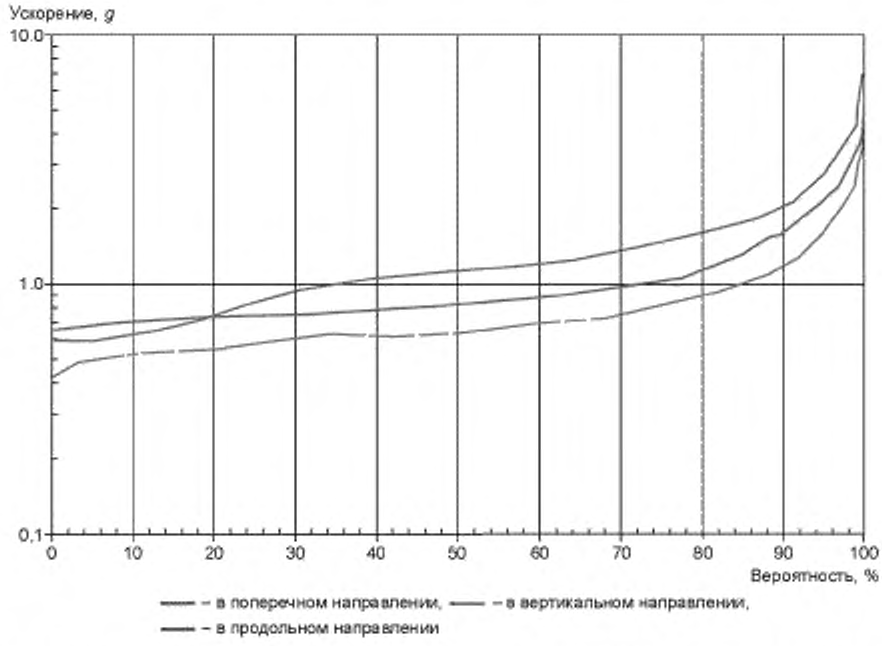


Рисунок 22 — Распределение ускорения в середине стандартного вагона (Американские железные дороги)

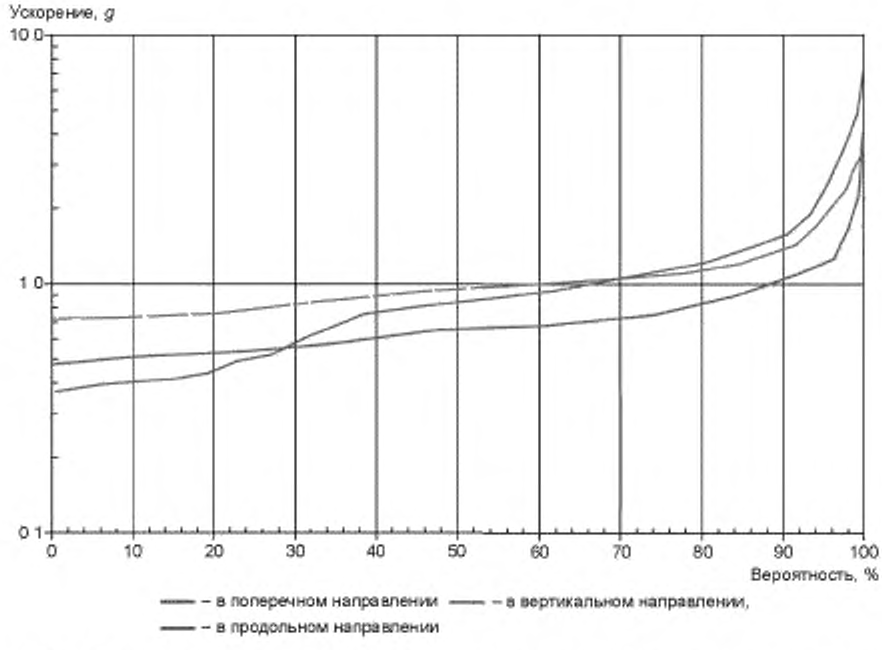


Рисунок 23 — Распределение ускорения в конце стандартного вагона (Американские железные дороги)

Таблица 7 — Распределение ударных ускорений по измерениям на товарных вагонах (Американские железные дороги)

Тип вагона и точки измерения		Квантиль ускорения, %			Пиковое ускорение, g
		< 0,3 g	< 0,5 g	< 1,0 g	
Вертикальное направление	Середина вагона с амортизационным устройством	10,0	50,0	96,0	1,6
	Конец вагона с амортизационным устройством	0,5	4,8	66,5	4,7
	Середина стандартного вагона	11,2	85,0	98,2	5,0
	Конец стандартного вагона	0,0	64,8	97,6	4,2
Поперечное направление	Середина вагона с амортизационным устройством	2,0	22,0	94,0	1,5
	Конец вагона с амортизационным устройством	0,0	3,0	79,3	4,5
	Середина стандартного вагона	0,0	72,0	97,1	4,1
	Конец стандартного вагона	3,6	88,0	98,1	3,9
Продольное направление	Середина вагона с амортизационным устройством	35,0	90,0	99,0	1,3
	Конец вагона с амортизационным устройством	3,1	58,3	98,9	2,6
	Середина стандартного вагона	0,0	37,8	93,4	7,0
	Конец стандартного вагона	23,1	67,3	98,1	7,0

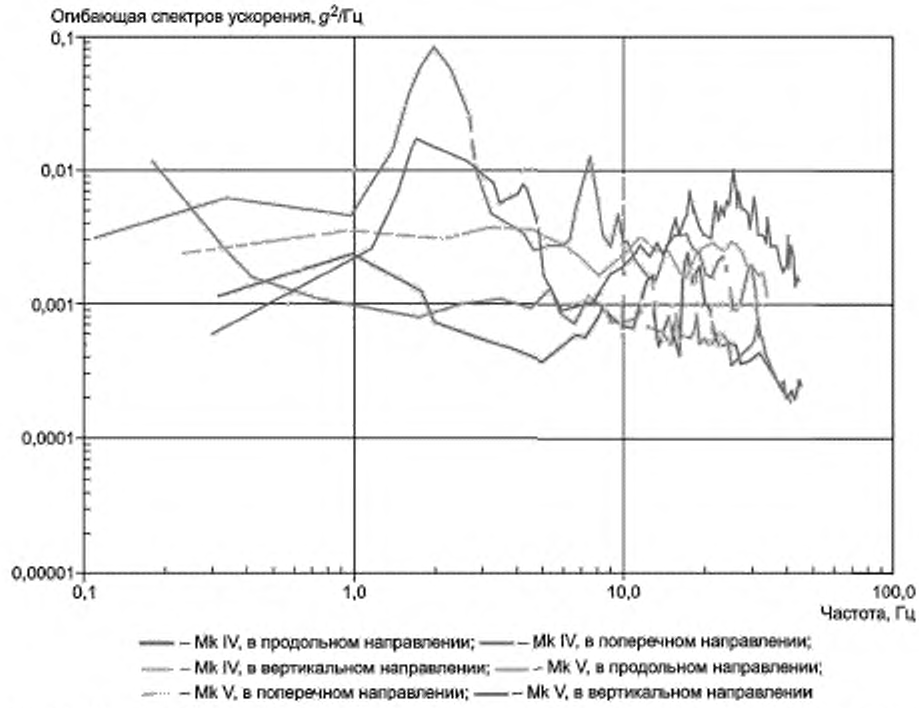


Рисунок 24 — Огибающие спектров ускорения на роудрейлерах (Американские железные дороги)

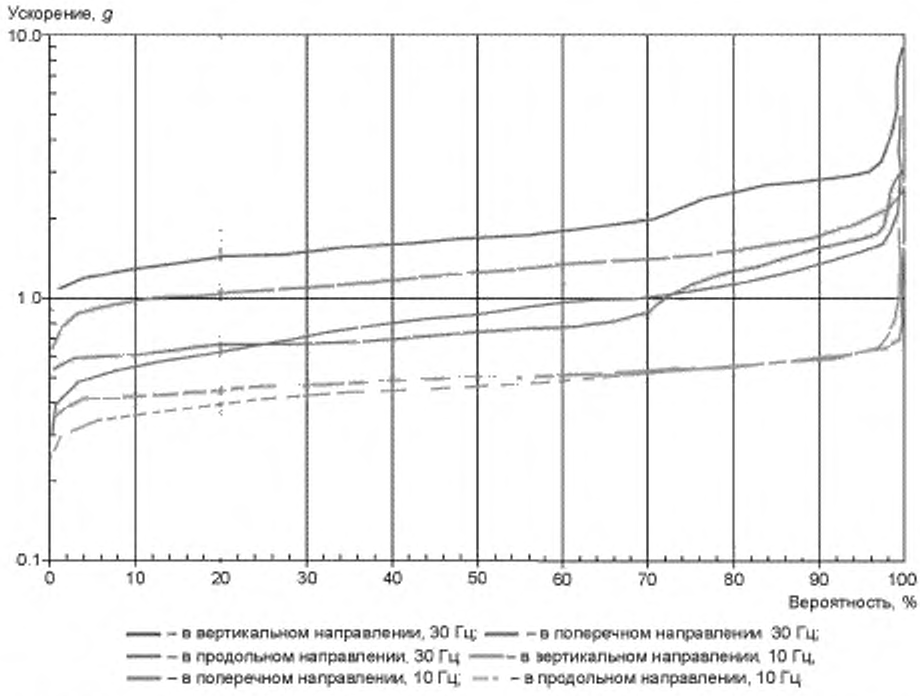


Рисунок 25 — Распределения размахов ускорения на разных частотах для роудрейлера модификации Mk V (Американские железные дороги)

Таблица 8 — Результаты измерений на роудрейлерах (Американские железные дороги)

Направление измерений	Усредненные пиковые значения ускорения, g	
	В диапазоне от 0 до 10 Гц	В диапазоне от 0 до 30 Гц
Mk IV		
Продольное	1,32	3,08
Поперечное	1,58	3,28
Вертикальное	4,20	4,30
Mk V		
Продольное	1,90	4,91
Поперечное	1,59	4,64
Вертикальное	3,00	8,78

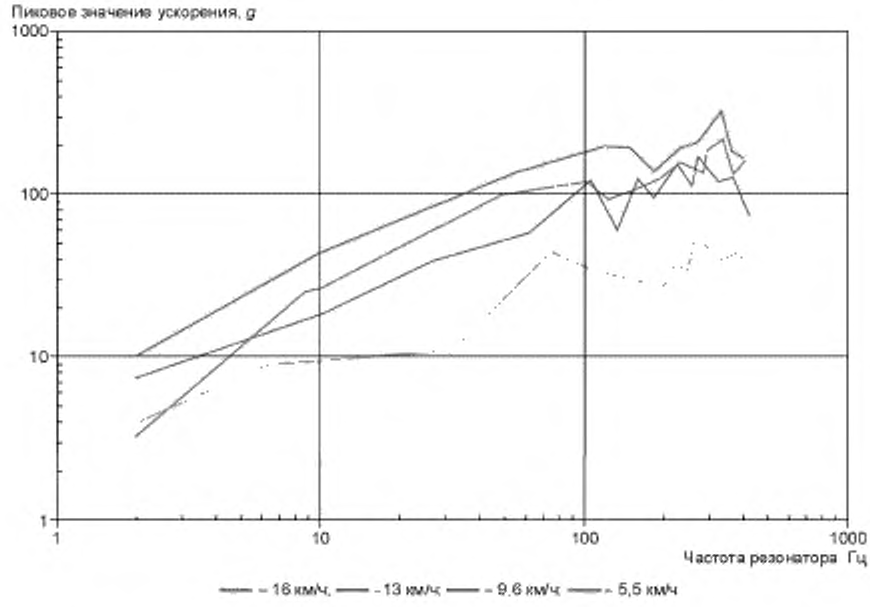


Рисунок 26 — Ударные спектры при разных скоростях столкновения вагонов с пружинными амортизаторами, по данным [10] (нулевое демпфирование)

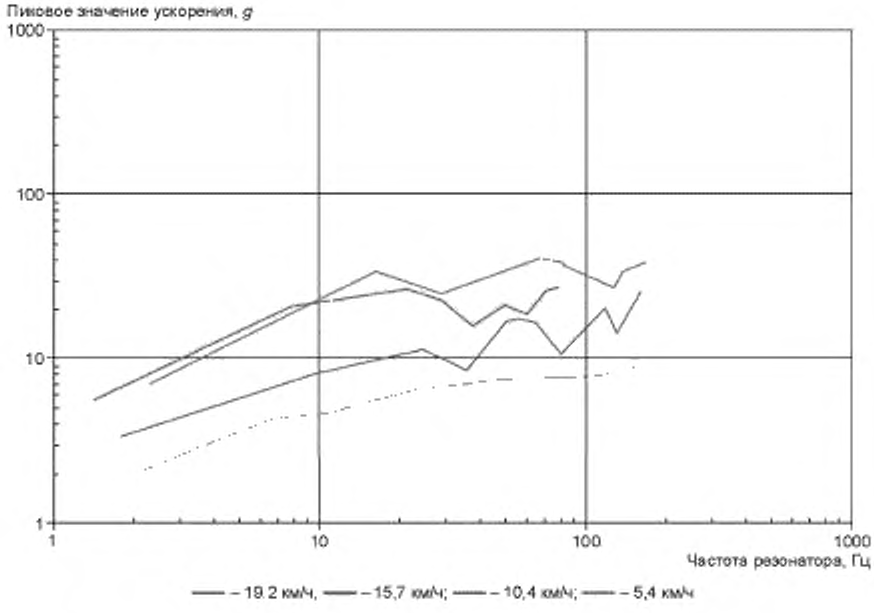


Рисунок 27 — Ударные спектры при разных скоростях столкновения вагонов с гидравлическими амортизаторами, по данным [10] (нулевое демпфирование)

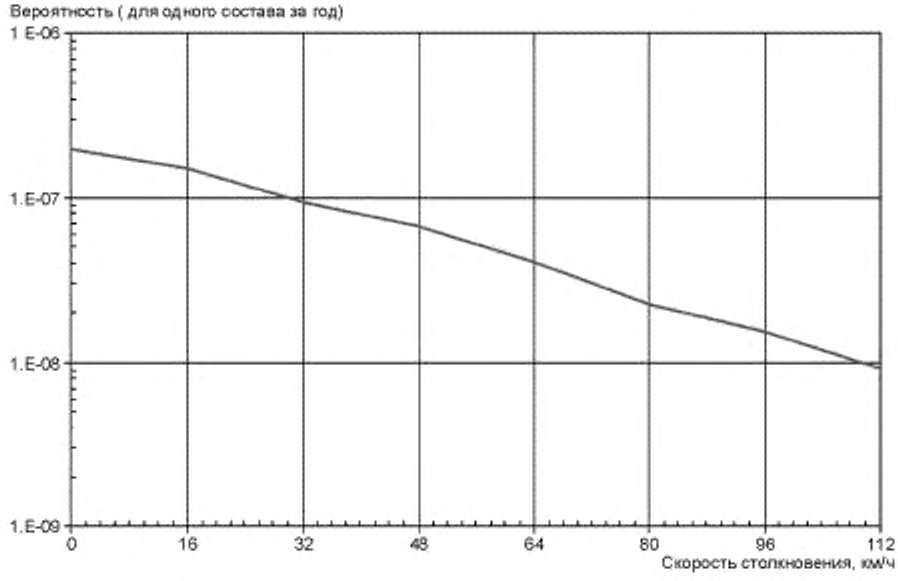


Рисунок 28 — Распределение по скоростям столкновения, по данным [10]

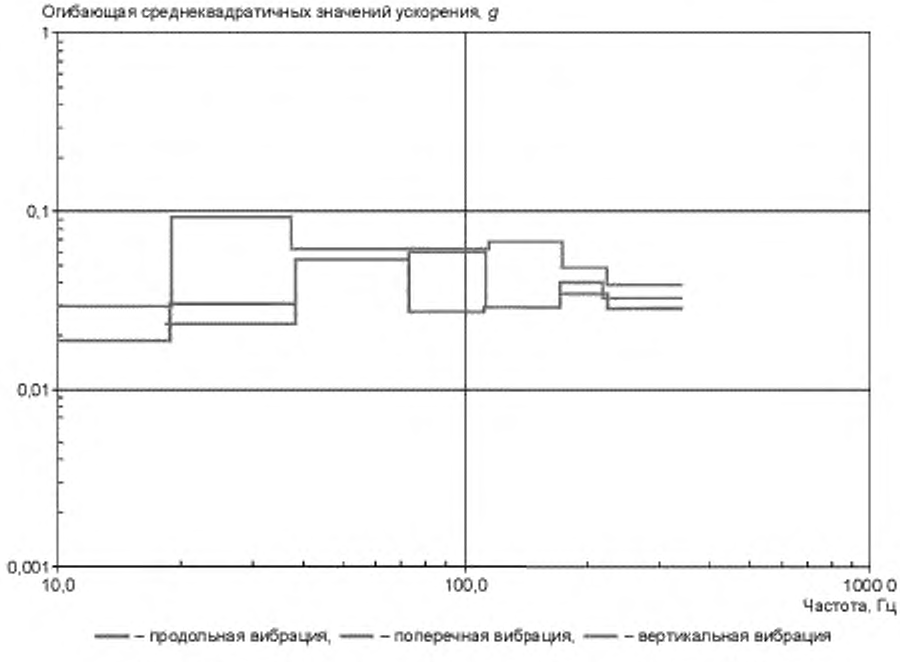


Рисунок 29 — Тестовые воздействия на вибрацию, по данным [11]

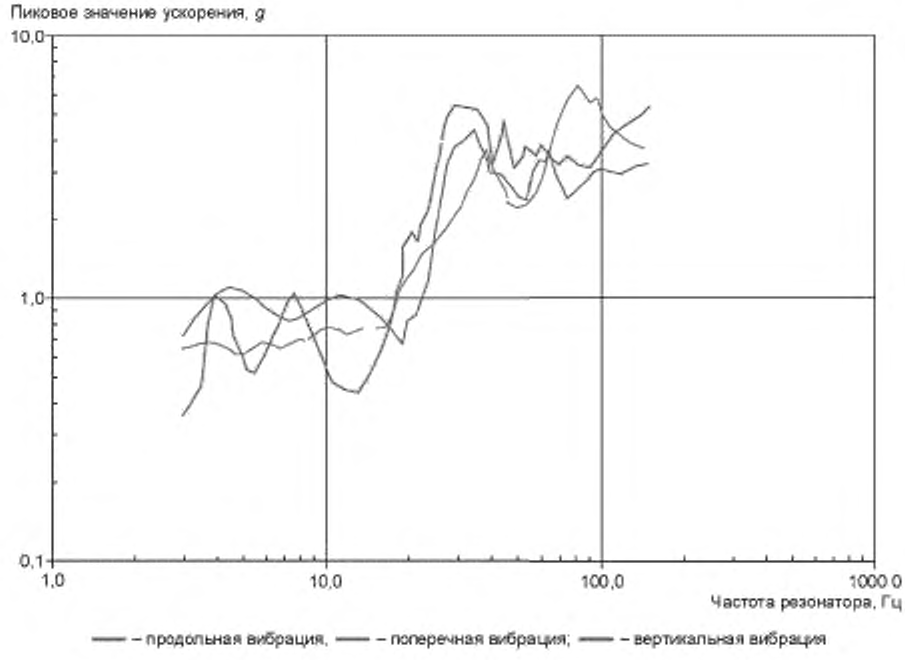


Рисунок 30 — Ударные спектры для повторяющихся событий, по данным [11] (ζ = 3 %, Q = 16,6)

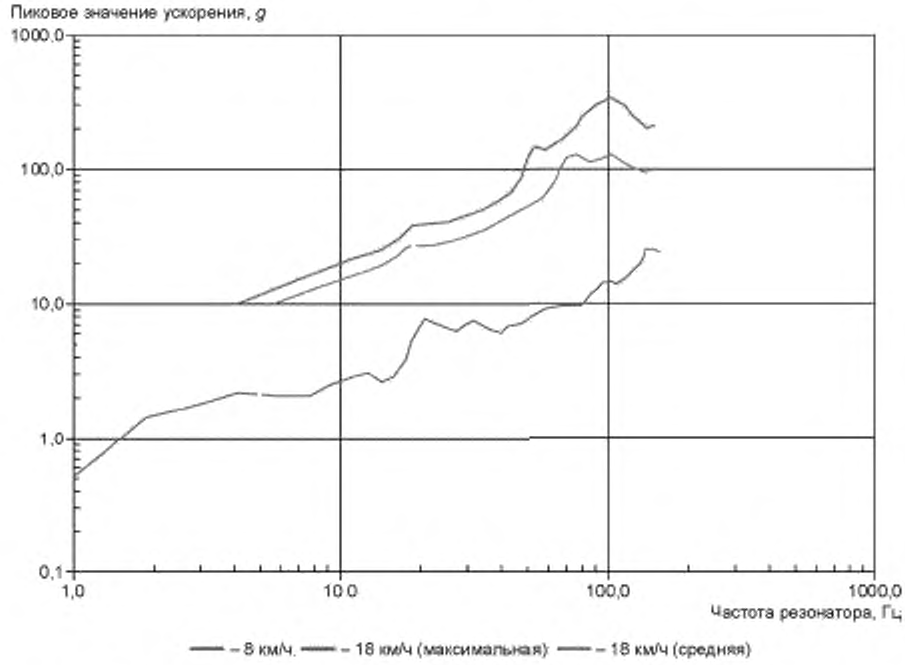


Рисунок 31 — Ударные спектры для случайных столкновений на разных скоростях, по данным [11] (ζ = 3 %, Q = 16,6)

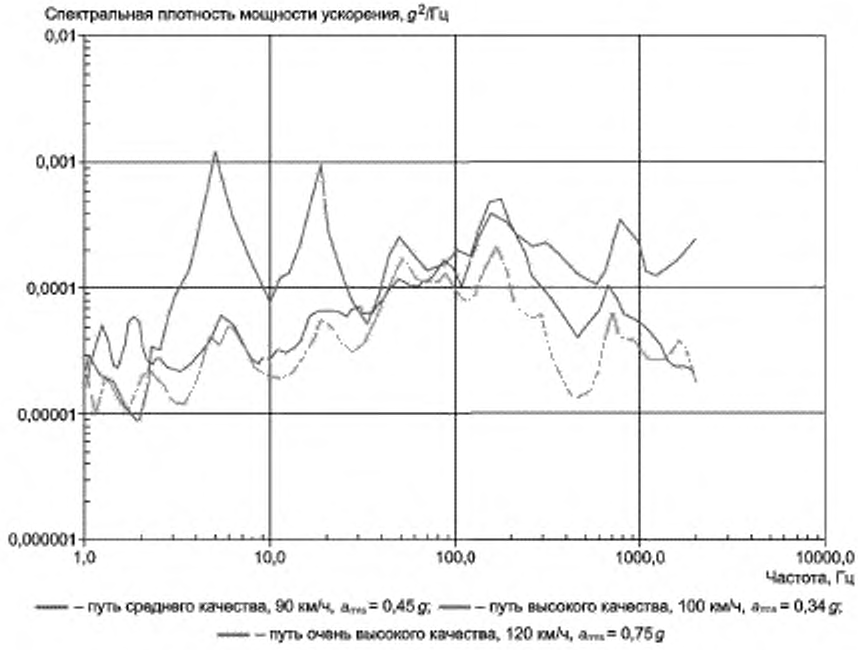


Рисунок 32 — Спектры вибрации в продольном направлении для вагонов Французской железнодорожной компании (SNCF) типов A, B и C, по данным [12]

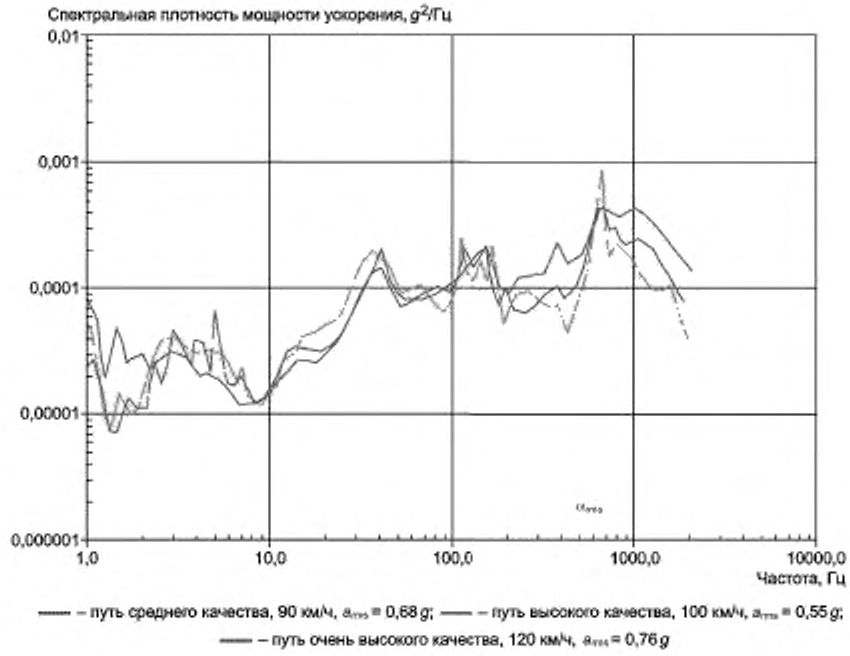


Рисунок 33 — Спектры вибрации в поперечном направлении для вагонов Французской железнодорожной компании (SNCF) типов A, B и C, по данным [12]

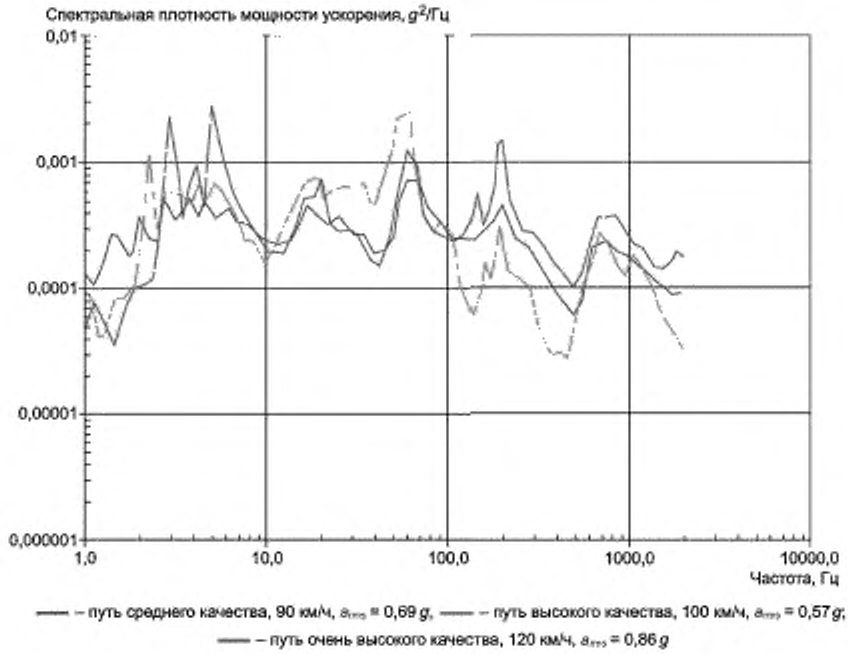


Рисунок 34 — Спектры вибрации в вертикальном направлении для вагонов Французской железнодорожной компании (SNCF) типов A, B и C, по данным [12]

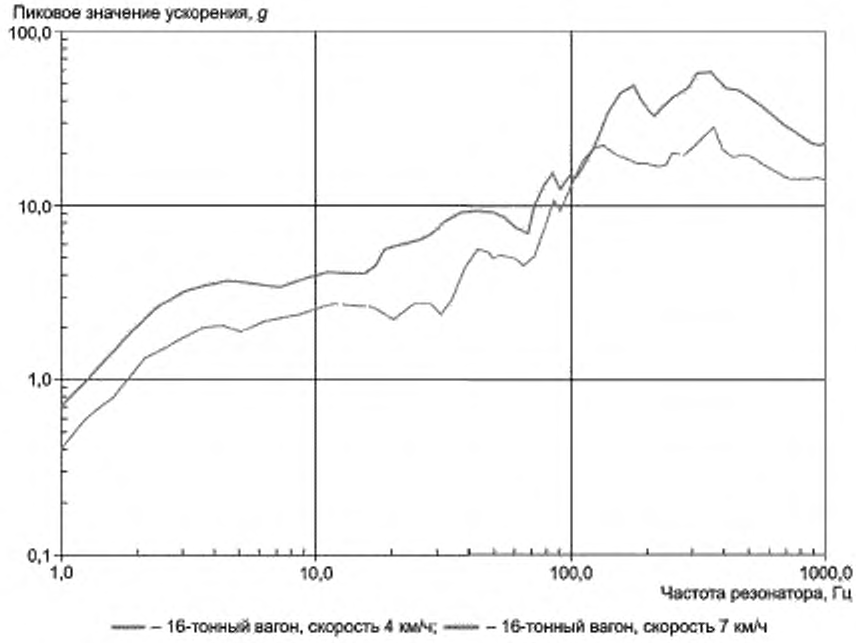


Рисунок 35 — Ударные спектры по измерениям в продольном направлении на краю грузовой платформы, по данным [12] (параметр Q неизвестен)

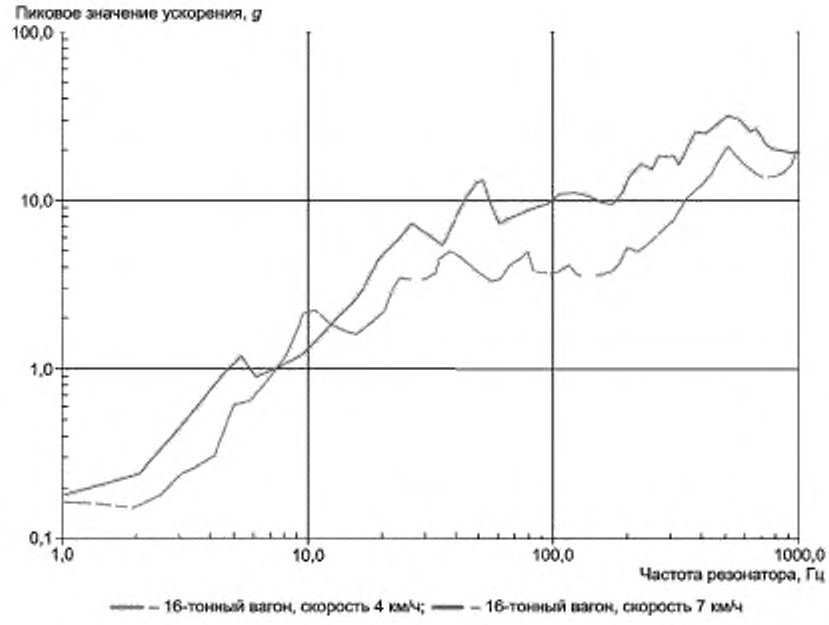


Рисунок 36 — Ударные спектры по измерениям в вертикальном направлении на краю грузовой платформы, по данным [12] (параметр Q неизвестен)

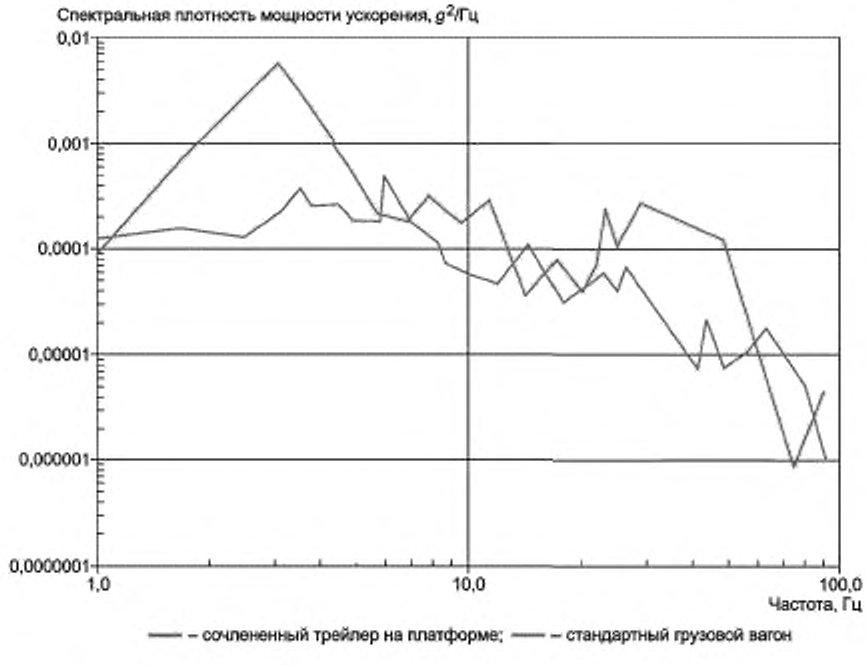
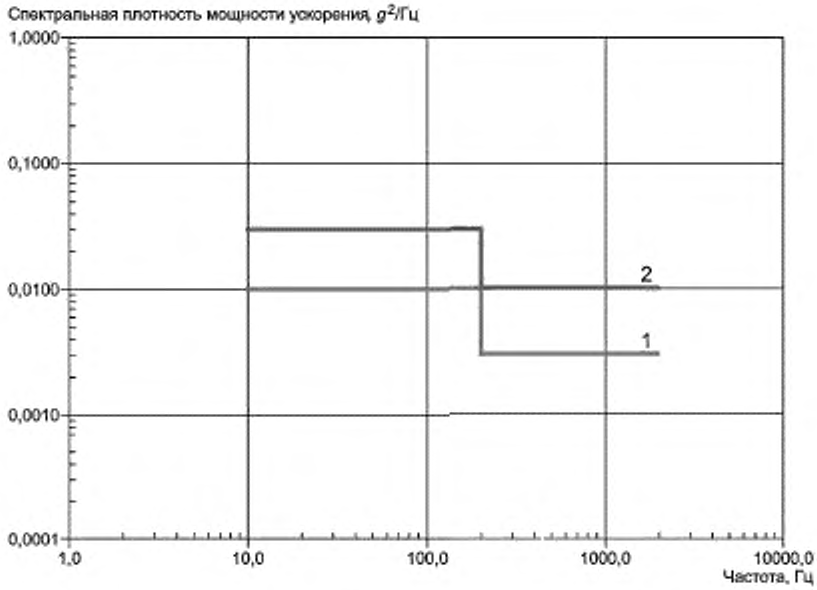
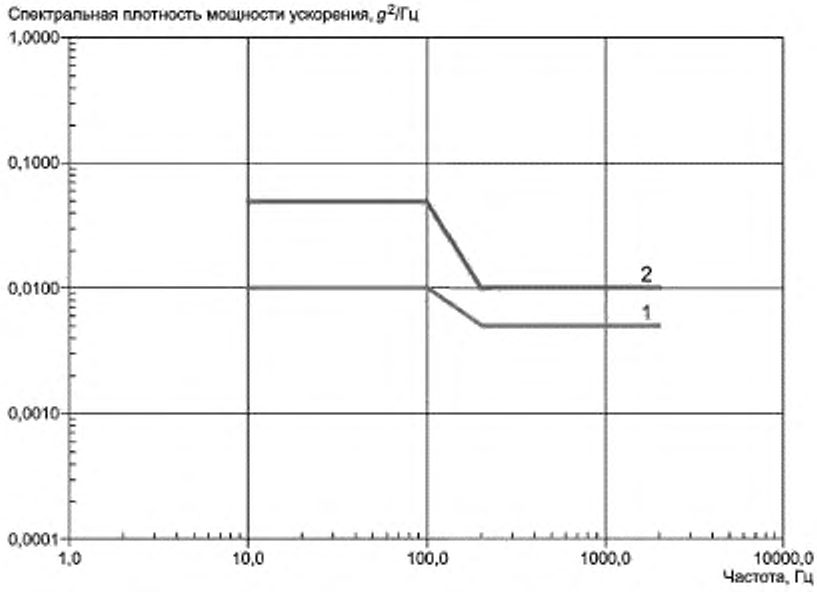


Рисунок 37 — Результаты измерений вибрации, по данным [12]



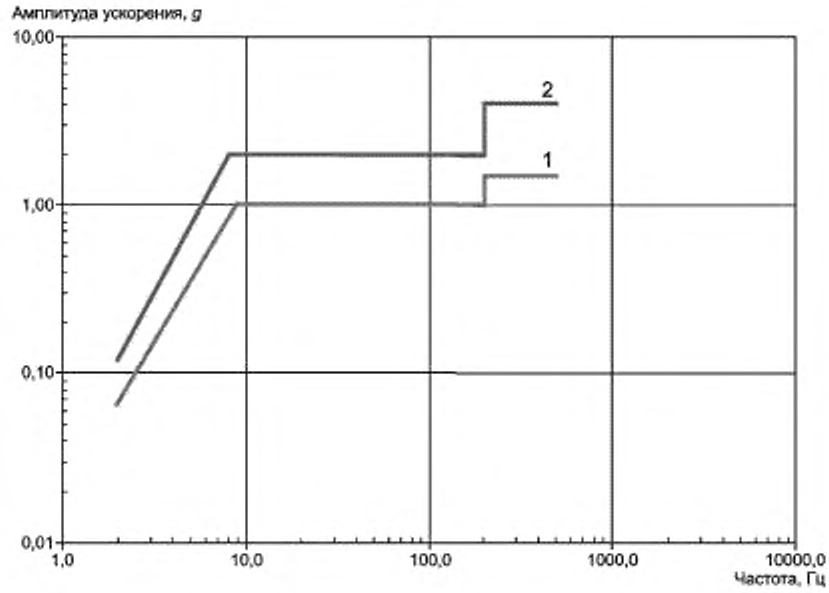
1 - классы 2M1/2M2, a_{rms} = 2,7 g, d_{p-p} = 2,7 мм; 2 – класс 2M3, a_{rms} = 4,9 g, d_{p-p} = 4,7 мм

Рисунок 38 — Тестовые воздействия МЭК 60721-3-2:1997 (случайная вибрация)



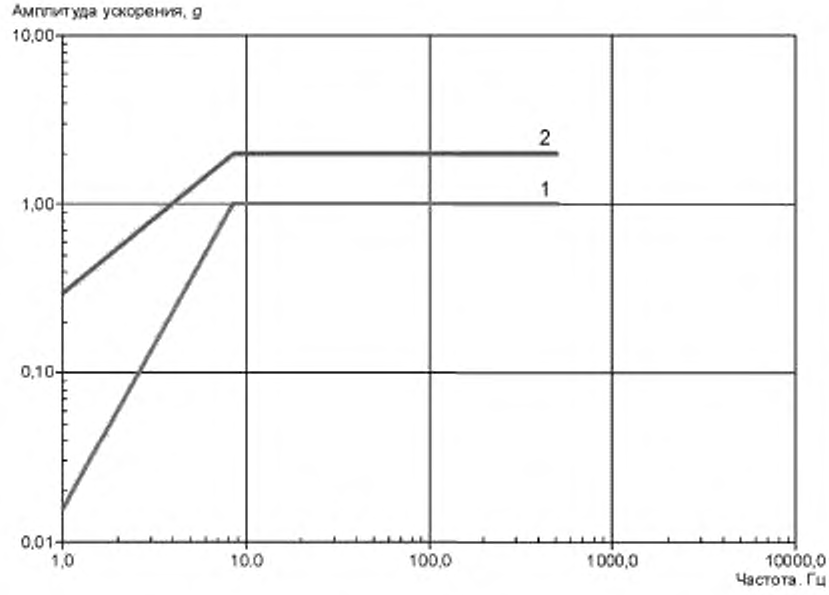
1 — классы 2M1/2M2 (a_{rms} = 3,2 g, d_{p-p} = 2,7 мм); 2 класс 2M3 (a_{rms} = 4,9 g, d_{p-p} = 6,1 мм)

Рисунок 39 — Рекомендованные тестовые воздействия для случайной вибрации по [17] (30 мин по каждой оси, всего — 180 мин)



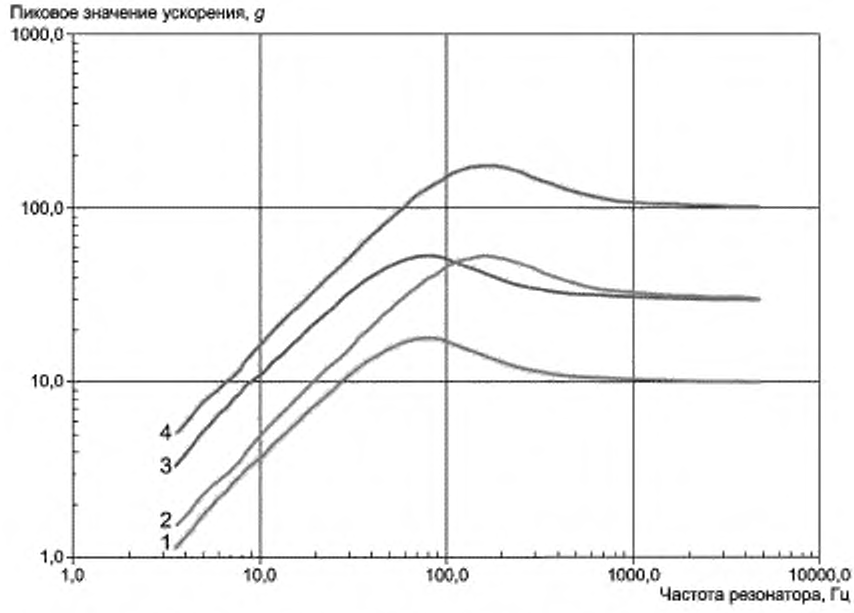
1 — классы 2М1/2М2; 2 — класс 2М3

Рисунок 40 — Тестовые воздействия МЭК 60721-3-2:1997 (гармоническая вибрация)



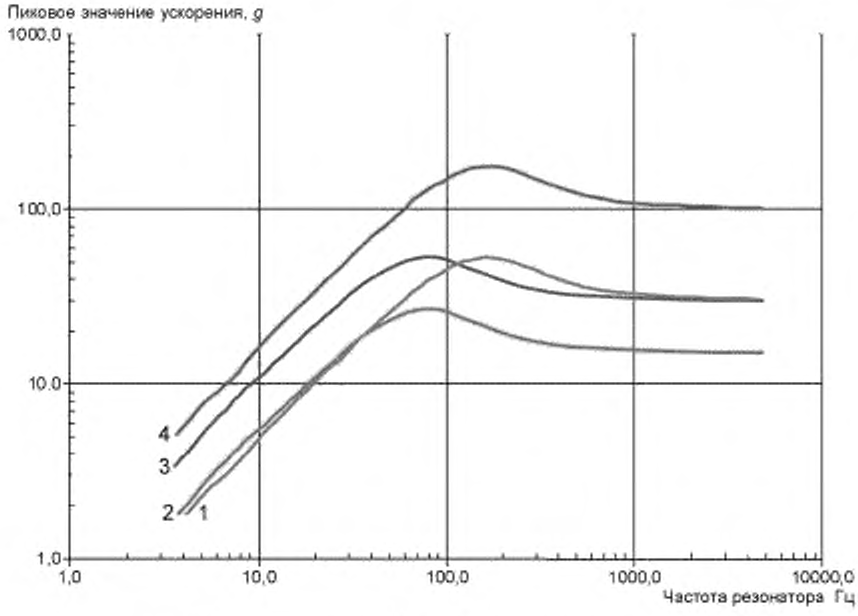
1 — классы 2М1/2М2, 2 — класс 2М3

Рисунок 41 — Рекомендованные тестовые воздействия для гармонической вибрации по [17]



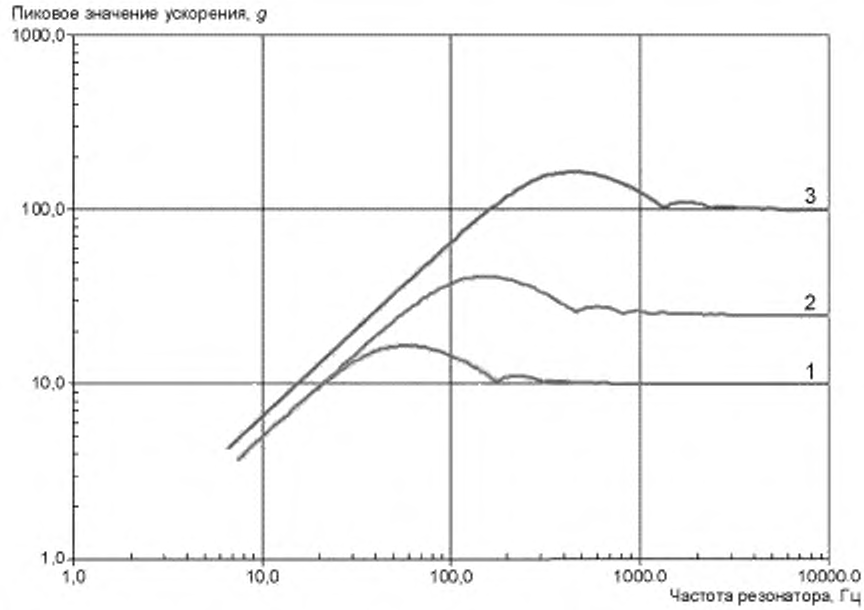
1 — классы 2М1/2М2, 2 — класс 2М2; 3 — класс 2М3; 4 — класс 2М3

Рисунок 42 — Тестовые воздействия МЭК 60721-3-2:1997 (ударные спектры)



1 — класс 2М2, 2 — классы 2М1/2М2; 3 — класс 2М3, 4 — класс 2М3

Рисунок 43 — Тестовые воздействия [17] (ударные спектры)



1 — длительность импульса 0,016 с (классы 2М1/2М2), 2 — длительность импульса 0,006 с (классы 2М2/2М3):
3 — длительность импульса 0,002 с (класс 2М3)

Рисунок 44 — Рекомендованные тестовые воздействия (ударные спектры) для повторяющихся ударов по [17] (число ударов 100 × 6 = 600)

Приложение ДА
(справочное)

Сведения о соответствии ссылочных международных стандартов национальным стандартам

Таблица ДА.1

Обозначение ссылочного международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование соответствующего национального стандарта
IEC 60068-2 (all parts)	—	*
IEC 60721 (all parts)	—	*
IEC 60721-3 (all parts)	—	*
IEC 60721-3-2:1997	—	*
IEC/TR 60721-4-2	—	*

* Соответствующий национальный стандарт отсутствует. До его принятия рекомендуется использовать перевод на русский язык данного международного стандарта.

Библиография

[1] Rail Freight Shock and Vibration Environment, K Poole, British Rail Technical Report TR FT 4, April 1981 (Restricted Distribution Data)

[2] Measurement and Analysis of Lengthways Rail Shock, Association of American Railroads, Washington, Report DP 3-95, July 199 (General Distribution Data)

[3] A Technical Summary of the Intermodal Environment Study, Association of American Railroads, Report DP 259, April 1991 (General Distribution Data)

[4] Trailer on Flatcar (TOFC) Environmental Study (Phase I), Association of American Railroads, Report DP 256, December 1989 (General Distribution Data)

[5] Intermodal Environmental Study; Phase II (Articulated equipment — TOFC/COFC spine cars and double stack well cars), Association of American Railroads, Report DP 257, March 1990 (General Distribution Data)

[6] Intermodal Environmental Study; Phase III (Truck transport and lift-on / Lift-off Intermodal ramp operations), Association of American Railroads, Report DP 258, October 1990 (General Distribution Data)

[7] Brochure on Intermodal shipping environment, Association of American Railroads, Report DP 260, May 1991 (General Distribution Data)

[8] Study of the Shock and Vibration Environment in Boxcars, Association of American Railroads, Report DP 262, November 1992 (General Distribution Data)

[9] Study of the Railroad Shock and Vibration Environment for Roadrailer Equipment, Association of American Railroads, Report DP 261, January 1992 (General Distribution Data)

[10] A Study of the Transportation Shock Environment and its Simulation, G.E. Johnson, Cambridge Consultants Report M208, July 1976 (Restricted Distribution Data)

[11] Transportation Dynamic Environment Summary, J.T. Foley, Sandia Laboratories, January 1973 (General Distribution Data)

[12] GAM-EG-13 Annexe 6 Modeled et Donnees D'envronment Mechanique (General Distribution Data)

[13] ASTM D 4728—91, Standard test method for random vibration testing of shipping containers (General Distribution Data)

[14] IEC/TR 62131-1:2011 Environmental conditions — Vibration and shock of electrotechnical equipment — Part 1: Process for validation of dynamic data

[15] IEC 60068-2 (all parts), Environmental testing — Part 2: Tests

[16] IEC 60721 (all parts), Classification of environmental conditions

[17] IEC/TR 60721-4-2, Classification of environmental conditions — Part 4-2: Guidance for the correlation and transformation of environmental condition classes of IEC 60721-3 to the environmental tests of IEC 60068-2 — Transportation

УДК 534.1:006.354 ОКС 19.040

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, транспортная вибрация, условия перевозок, тестовые воздействия, спектральная плотность мощности ускорения, ударный спектр

Редактор *Н.Е. Рагузина*
Технический редактор *И.Е. Черепкова*
Корректор *Е.Р. Ароян*
Компьютерная верстка *Ю.В. Поповой*

Сдано в набор 26.04.2019. Подписано в печать 15.07.2019. Формат 60 × 84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 5,58. Уч.-изд. л. 5,04

Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком стандарта

ИД «Юриспруденция», 115419, Москва, ул. Орджоникидзе, 11.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

Создано в единичном исполнении во ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ»
для комплектования Федерального информационного фонда стандартов,
117418 Москва, Нахимовский пр-т, д. 31, к. 2.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru

gost.e-ecolog.ru