МИНИСТЕРСТВО СТРОИТЕЛЬСТВА
И ЖИЛИЩНО-КОММУНАЛЬНОГО ХОЗЯЙСТВА
РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

СВОД ПРАВИЛ **СП 441.1325800.2019**

ЗАЩИТА ЗДАНИЙ ОТ ВИБРАЦИИ, СОЗДАВАЕМОЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ

Правила проектирования

Издание официальное

Москва
Стандартинформ
2019

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

Сведения о своде правил

1 ИСПОЛНИТЕЛЬ — Федеральное государственное бюджетное учреждение «Научно-исследовательский институт строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук» (НИИСФ РААСН)

2 ВНЕСЕН Техническим комитетом по стандартизации ТК 465 «Строительство»

3 ПОДГОТОВЛЕН к утверждению Департаментом градостроительной деятельности и архитектуры Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации (Минстрой России)

4 УТВЕРЖДЕН приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 22 января 2019 г. № 23/пр и введен в действие с 23 июля 2019 г.

5 ЗАРЕГИСТРИРОВАН Федеральным агентством по техническому регулированию и метрологии (Росстандарт)

6 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего свода правил соответствующее уведомление будет опубликовано в установленном порядке. Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте разработчика (Минстрой России) в сети Интернет

© Минстрой России, 2019
© Стандартинформ, оформление, 2019

Настоящий свод правил не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания на территории Российской Федерации без разрешения Минстроя России

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 3
4 Общие положения 3
4.1 Нормирование и оценка параметров вибрации и уровней структурного шума в помещениях жилых и общественных зданий 3
4.2 Нормирование и критерии оценки вибрации 4
4.3 Нормирование и критерии оценки структурного шума 6
5 Прогноз вибрации, вызванной движением железнодорожных поездов 7
5.1 Общие положения 7
5.2 Расчет на стадии предпроектной проработки 9
5.3 Расчет на стадии разработки проекта 15
6 Расчет уровней структурного шума 16
6.1 Общие положения 16
6.2 Определение уровней структурного шума 16
7 Виброизоляция верхнего строения пути 17
7.1 Общие положения 17
7.2 Требования к материалам 18
7.3 Расчетное обоснование динамических характеристик виброзащитной конструкции ВСП 18
7.4 Правила проектирования виброзащитной конструкции верхнего строения пути 20
8 Виброизоляция зданий 23
8.1 Общие положения 23
8.2 Требования к материалам и изделиям 25
8.3 Расчетное обоснование динамических характеристик системы виброизоляции здания 25
8.4 Правила проектирования системы виброизоляции здания 26
Приложение А Физико-механические свойства грунтов 28
Приложение Б Измерение вибрации от железнодорожных линий 29
Приложение В Значения виброскорости для опорного расстояния 16 м 35
Приложение Г Влияние вибрации на осадки здания 36
Библиография 37

Введение

Настоящий свод правил разработан с учетом требований федеральных законов от 30 марта 1999 г. № 52-ФЗ «О санитарно-эпидемиологическом благополучии населения», от 27 декабря 2002 г. № 184-ФЗ «О техническом регулировании», от 30 декабря 2009 г. № 384-ФЗ «Технический регламент о безопасности зданий и сооружений» и содержит требования к расчету и проектированию защиты от вибрации и структурного шума, создаваемых подвижным составом железнодорожного транспорта в помещениях жилых и общественных зданий, расположенных вблизи железнодорожных линий.

Свод правил разработан авторским коллективом НИИСФ РААСН (д-р техн. наук *И.Л. Шубин*, д-р техн. наук *И.Е. Цукерников*, д-р техн. наук *Т.О. Невенчанная*, канд. техн. наук *В.А. Смирнов*, *А.С. Лебедев*, *М.Ю. Смоляков*) при участии ООО «Институт акустических конструкций» (канд. техн. наук. *А.Е. Шашурин*).

С В О Д П Р А В И Л

ЗАЩИТА ЗДАНИЙ ОТ ВИБРАЦИИ, СОЗДАВАЕМОЙ ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНЫМ ТРАНСПОРТОМ

Правила проектирования

Building protection against vibration caused by rail transport. Design rules

Дата введения — 2019—07—23

1 Область применения

Настоящий свод правил распространяется на защиту от вибрации и структурного шума, создаваемых подвижным составом железнодорожного транспорта в помещениях жилых и общественных зданий, расположенных вблизи железнодорожных линий колеи 1520 мм, предназначенных для пропуска пассажирских поездов со скоростью до 250 км/ч включительно и грузовых поездов со скоростью до 140 км/ч включительно с вагонами, имеющими статические и динамические осевые нагрузки, а также температурный диапазон эксплуатации по СП 119.13330.

2 Нормативные ссылки

В настоящем своде правил использованы нормативные ссылки на следующие документы:

ГОСТ 11722—78 Резина пористая. Метод определения остаточного сжатия

ГОСТ 12248—2010 Грунты. Методы лабораторного определения характеристик прочности и деформируемости

ГОСТ 17177—94 Материалы и изделия строительные теплоизоляционные. Методы испытаний

ГОСТ 17187—2010 (IEC 61672-1:2002) Шумомеры. Часть 1. Технические требования

ГОСТ 18268—2017 (ISO 1856:2000) Пластмассы ячеистые эластичные. Метод определения относительной остаточной деформации при сжатии

ГОСТ 24346—80 Вибрация. Термины и определения

ГОСТ 25100—2011 Грунты. Классификация

ГОСТ 27242—87 Вибрация. Виброизоляторы. Общие требования к испытаниям

ГОСТ 27751—2014 Надежность строительных конструкций и оснований. Основные положения

ГОСТ 31185—2002 (ИСО 10815:1996) Вибрация. Измерения вибрации внутри железнодорожных туннелей при прохождении поездов

ГОСТ 31191.1—2004 (ИСО 2631-1:1997) Вибрация и удар. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Общие требования

ГОСТ 31191.2—2004 (ИСО 2631-2:2003) Вибрация и удар. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Часть 2. Вибрация внутри зданий

ГОСТ 31319—2006 (ЕН 14253:2003) Вибрация. Измерение общей вибрации и оценка ее воздействия на человека. Требования к проведению измерений на рабочих местах

ГОСТ 32192—2013 Надежность в железнодорожной технике. Основные понятия. Термины и определения

ГОСТ 34056—2017 Транспорт железнодорожный. Состав подвижной. Термины и определения

ГОСТ 34100.1—2017 Неопределенность измерения. Часть 1. Введение в руководства по выражению неопределенности измерения

ГОСТ 34100.3—2017 Неопределенность измерения. Часть 3. Руководство по выражению неопределенности измерения

ГОСТ ИСО 8041—2006 Вибрация. Воздействие вибрации на человека. Средства измерений

ГОСТ Р 51685—2013 Рельсы железнодорожные. Общие технические условия

Издание официальное

ГОСТ Р 52892—2007 Вибрация и удар. Вибрация зданий. Измерение вибрации и оценка ее воздействия на конструкцию

ГОСТ Р 53963.1—2010 Измерения вибрации сооружений. Требования к средствам измерений

ГОСТ Р 53964—2010 Измерения вибрации сооружений. Руководство по проведению измерений

ГОСТ Р 55050—2012 Железнодорожный подвижной состав. Нормы допустимого воздействия на железнодорожный путь и методы испытаний

ГОСТ Р 55056—2012 Транспорт железнодорожный. Основные понятия. Термины и определения

ГОСТ Р 56353—2015 Грунты. Методы лабораторного определения динамических свойств дисперсных грунтов

ГОСТ Р 56729—2015 (EN 14313:2009) Изделия из пенополиэтилена теплоизоляционные заводского изготовления, применяемые для инженерного оборудования зданий и промышленных установок. Общие технические условия

ГОСТ Р ИСО 2017-1—2011 Вибрация и удар. Упругие системы крепления. Часть 1. Технические данные для применения систем виброизоляции

ГОСТ Р ИСО 2017-2—2011 Вибрация и удар. Упругие системы крепления. Часть 2. Технические данные для применения систем виброизоляции для железнодорожного транспорта

ГОСТ Р ИСО 2017-3—2016 Вибрация и удар. Упругие системы крепления. Часть 3. Технические данные для применения систем виброизоляции при строительстве новых зданий

ГОСТ Р ИСО 2041—2012 Вибрация, удар и контроль технического состояния. Термины и определения

ГОСТ Р ИСО 10137—2016 Основы расчета строительных конструкций. Эксплуатационная надежность зданий в условиях воздействия вибрации

ГОСТ Р ИСО 10846-1—2010 Вибрация. Измерения виброакустических передаточных характеристик упругих элементов конструкций в лабораторных условиях. Часть 1. Общие принципы измерений.

ГОСТ Р ИСО 14837-1—2007 Вибрация. Шум и вибрация, создаваемые движением рельсового транспорта. Часть 1. Общее руководство

ГОСТ Р ИСО 18437-1—2014 Вибрация и удар. Определение динамических механических свойств вязкоупругих материалов. Часть 1. Общие принципы

СП 20.13330.2016 «СНиП 2.01.07-85* Нагрузки и воздействия» (с Изменением № 1)

СП 26.13330.2012 «СНиП 2.02.05-87 Фундаменты машин с динамическими нагрузками» (с Изменением № 1)

СП 51.13330.2011 «СНиП 23-03-2003 Защита от шума» (с Изменением № 1)

СП 119.13330.2017 «СНиП 32-01-95 Железные дороги колеи 1520 мм»

СП 122.13330.2012 «СНиП 32-04-97 Тоннели железнодорожные и автодорожные» (с Изменением № 1)

СП 267.1325800.2016 Здания и комплексы высотные. Правила проектирования

СП 271.1325800.2016 Системы шумоглушения воздушного отопления, вентиляции и кондиционирования воздуха. Правила проектирования

СанПиН 2.2.4.3359-16 Санитарно-эпидемиологические требования к физическим факторам на рабочих местах

СН 2.2.4/2.1.8.562-96 Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки

СН 2.2.4/2.1.8.566-96 Производственная вибрация, вибрация в помещениях жилых и общественных зданий

Примечание — При пользовании настоящим сводом правил целесообразно проверить действие ссылочных документов в информационной системе общего пользования — на официальном сайте федерального органа исполнительной власти в сфере стандартизации в сети Интернет или по ежегодному информационному указателю «Национальные стандарты», который опубликован по состоянию на 1 января текущего года, и по выпускам ежемесячного информационного указателя «Национальные стандарты» за текущий год. Если заменен ссылочный документ, на который дана недатированная ссылка, то рекомендуется использовать действующую версию этого документа с учетом всех внесенных в данную версию изменений. Если заменен ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, то рекомендуется использовать версию этого документа с указанным выше годом утверждения (принятия). Если после утверждения настоящего свода правил в ссылочный документ, на который дана датированная ссылка, внесено изменение, затрагивающее положение, на которое дана ссылка, то это положение рекомендуется применять без учета данного изменения. Если ссылочный документ отменен без замены, то положение, в котором дана ссылка на него, рекомендуется применять в части, не затрагивающей эту ссылку. Сведения о действии сводов правил целесообразно проверить в Федеральном информационном фонде стандартов.

3 Термины и определения

В настоящем своде правил применены термины по СП 51.13330, СП 119.13330, СП 122.13330, ГОСТ Р ИСО 2041, ГОСТ 24346, ГОСТ Р ИСО 14837-1, ГОСТ 34056, ГОСТ Р 52892, ГОСТ Р 55056, СН 2.2.4/2.1.8.566, а также следующие термины с соответствующими определениями:

3.1 **среднеквадратичное значение колеблющейся величины:** Квадратный корень из среднеарифметического или среднеинтегрального значения квадрата колеблющейся величины в рассматриваемом интервале времени.

Примечание — Если имеется n дискретных значений колеблющейся величины x_i (i = 1, 2,..., n), то среднеквадратичное значение $\tilde{x}$ определяется по формуле

$$\tilde{x} = \sqrt{\frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} x_i^2} \,. \qquad (3.1)$$

3.2 **структурный шум:** Воздушный шум, создаваемый ограждающими конструкциями помещения (стены, потолок, пол), совершающими колебания, вызываемые движением поездов железнодорожных линий.

3.3 **фоновая вибрация:** Вибрация, создаваемая в точке измерения всеми источниками за исключением поездов, проходящих по исследуемому участку железной дороги.

4 Общие положения

Настоящий свод правил устанавливает требования, которыми следует руководствоваться при проектировании и реализации защиты от вибрации железнодорожных линий, выполнении расчетов по оценке степени вибрационного и шумового дискомфорта и при разработке мероприятий для обеспечения допустимых параметров вибрации и уровней структурного шума, регламентируемых СН 2.2.4/2.1.8.562, СанПиН 2.2.4.3359 и СН 2.2.4/2.1.8.566.

Физико-механические свойства грунтов приведены в приложении А; требования к проведению натурных измерений вибрации грунта при прохождении поездов — в приложении Б; значения виброскорости, измеренные для опорного расстояния 16 м, — в приложении В; параметры, по которым можно оценивать влияние вибрации на осадки здания — в приложении Г.

Положения настоящего свода правил не учитывают совместного воздействия структурного шума, вызванного движением подвижного состава железной дороги и воздушного шума, передаваемого через наружные ограждающие конструкции.

Категории поездов, принимаемые в расчет в настоящем своде правил, приведены в таблице 4.1.

Таблица 4.1 — Классификация поездов

Категория поезда	Тип поезда	Максимальная расчетная скорость, км/ч
1	Пассажирский поезд с локомотивной тягой	200
2	Грузовой поезд	140
3	Электропоезд	160
4	Высокоскоростной поезд	250

4.1 Нормирование и оценка параметров вибрации и уровней структурного шума в помещениях жилых и общественных зданий

4.1.1 Требования к нормированию параметров вибрации и уровней шума в помещениях жилых и общественных зданий устанавливают в соответствии с СН 2.2.4/2.1.8.566 и СН 2.2.4/2.1.8.562. Выбор нормируемых параметров и допустимых значений осуществляют с учетом временного характера нормируемого фактора.

4.1.2 Требования к нормированию параметров вибрации и уровней шума для рабочих мест в общественных зданиях устанавливают в соответствии с СанПиН 2.2.4.3359 для рабочей смены с учетом времени воздействия нормируемого фактора.

4.1.3 Вибрация, создаваемая в помещениях зданий от движения железнодорожных составов, по способу передачи на человека является общей вибрацией и подразделяется на действующую вдоль

осей ортогональной системы координат X, Y, Z, соответствующей базицентрической системе координат для тела человека по ГОСТ 31191.1. Оценку вибрации, воздействующей на человека внутри здания, выполняют по ГОСТ 31191.2 посредством измерения в трех указанных взаимно перпендикулярных направлениях. При этом систему координат выбирают, привязывая ее к конструкции здания так, чтобы оси координат лежали преимущественно в плоскостях, параллельных плоскостям основных несущих элементов, а направления осей совпадали с направлениями соответствующих осей для стоящего человека по ГОСТ 31191.1, т. е. X (от спины к груди) и Y (от правого плеча к левому) — горизонтальные оси, направленные параллельно опорным поверхностям; Z — вертикальная ось, перпендикулярная к полу.

4.1.4 Вибрация, создаваемая в помещениях зданий от движения железнодорожных составов, и порождаемый ею структурный шум имеют непостоянный прерывистый характер с выраженным преобладанием сигнала вибрации в октавной полосе частот 4—63 Гц для грузовых и 16—250 Гц для пассажирских и скоростных поездов (октавные полосы со среднегеометрическими частотами $f_{сг}$ 4—250 Гц) и повторяются с интервалом, определяемым графиком движения поездов.

Примечание — В соответствии с ГОСТ Р ИСО 14837-1 вибрация и структурный шум на объекте воздействия наблюдаются в диапазоне частот приблизительно от 1 до 250 Гц. Для некоторых видов грунта (например, скальной породы), а также при наличии жесткой связи между зданием и туннелем, особенно если здание расположено на небольшом расстоянии от туннеля, фундамент здания и скальную породу разделяет только тонкий слой грунта, существенной может оказаться вибрация на более высоких частотах.

4.1.5 С нормативными значениями следует сравнивать оценочные значения нормируемых параметров вибрации и структурного шума, определенные для жилых помещений и помещений общественных зданий за время оценки, равное 16 ч дневного времени и 8 ч ночного времени, а для рабочих мест за восьмичасовую смену, с учетом графика движения поездов.

4.1.6 При наличии в проектируемом здании собственных источников вибрации требования к параметрам вибрации и уровням структурного шума для них и железнодорожных линий следует устанавливать из условия обеспечения нормативных параметров по 4.2, 4.3 для суммарных значений вибрации и структурного шума.

4.2 Нормирование и критерии оценки вибрации

4.2.1 В качестве нормируемых параметров непостоянной вибрации, создаваемой поездами железнодорожных линий в помещениях жилых и общественных зданий, принимают эквивалентное и максимальное корректированные значения виброскорости $v_{w,экв}$, $v_{w,макс}$, м/с, или их логарифмические уровни $L_{v_w,экв}$, $L_{v_w,макс}$, дБ.

Примечание — Основания для выбора виброскорости в качестве нормируемого параметра определяются тем, что допустимые значения нормируемых параметров для частотного спектра, свойственного вибрации железнодорожных линий, соответствуют значениям, установленным в СН 2.2.4/2.1.8.566, частотные весовые коэффициенты для большинства подлежащих оценке спектральных полос вибрационного сигнала равны 1, уровень звукового давления структурного шума в помещении определяют по значениям виброскорости колебания ограждающих поверхностей помещения.

Допустимые значения нормируемых параметров $v_{w,экв,доп}$, $v_{w,макс,доп}$, $L_{v_w,экв,доп}$, $L_{v_w,макс,доп}$, в помещениях жилых и общественных зданий следует принимать в соответствии с таблицей 4.2.

Таблица 4.2 — Допустимые значения вибрации в помещениях жилых и общественных зданий

Помещение	Время суток	Допустимое значение по осям X, Y, Z			
		$v_{w,экв,доп}\cdot10^4$, м/с	$v_{w,макс,доп}\cdot10^4$, м/с	$L_{v_w,экв,доп}$, дБ	$L_{v_w,макс,доп}$, дБ
Жилое (дневное время)	с 7 до 23 ч с 23 до 7 ч	0,63 0,35	2,0 1,1	62 57	72 67
Палаты больниц и санаториев	с 7 до 23 ч с 23 до 7 ч	0,44 0,25	1,4 0,8	59 54	69 64
Административно-управленческое	–	0,90	2,8	65	75
Помещения школ, учебных заведений, читальных залов библиотек	–	0,63	2,0	62	72

4.2.2 Оценку вибрации на соответствие допустимым значениям следует проводить одновременно по эквивалентному и максимальному значениям корректированной виброскорости так, что превышение одного из показателей должно рассматриваться как несоответствие санитарным требованиям.

4.2.3 В соответствии с СанПиН 2.2.4.3359 в качестве нормируемого параметра непостоянной вибрации, создаваемой поездами железнодорожных линий на рабочих местах в общественных зданиях, принимают эквивалентное корректированное виброускорение за восьмичасовую рабочую смену $a_{w,8h}$, м/с^2, или его логарифмический уровень $L_{a_w,8h}$, дБ. Предельно допустимые значения нормируемых параметров $a_{w,8h,доп}$, $L_{a_w,8h,доп}$ на рабочих местах в общественных зданиях следует принимать в соответствии с таблицей 4.3.

Таблица 4.3 — Предельно допустимые значения вибрации на рабочих местах общественных зданий

Предельно допустимое значение по осям			
X, *Y*		*Z*	
$a_{w,8h,доп}$, м/с^2	$L_{a_w,8h,доп}$, дБ	$a_{w,8h,доп}$, м/с^2	$L_{a_w,8h,доп}$, дБ
0,0099	80	0,014	83

4.2.4 Значения нормируемых параметров следует определять посредством измерений с помощью интегрирующих цифровых приборов с использованием записи истории процесса или расчетом по значениям в пяти октавных полосах частот с $f_{сг}$ = 4; 8; 16; 31,5; 63 Гц по формулам:

$$v_w = \sqrt{\sum_{i=1}^{5}(w_i v_i)^2}\ ; \tag{4.1}$$

$$L_{v_w} = 10\lg\sum_{i=1}^{5}10^{(L_{v,i}+L_{w,i})/10}\ ; \tag{4.2}$$

$$a_{w,экв} = \sqrt{\sum_{i=1}^{5}(w_i a_{экв,i})^2}\ ; \tag{4.3}$$

$$L_{a_w,экв} = 10\lg\sum_{i=1}^{5}10^{(L_{a,экв,i}+L_{w,i})/10}\ , \tag{4.4}$$

где v_i и $L_{v,i}$ — значения эквивалентной (максимальной) виброскорости, м/с, и ее уровня, дБ, в i-й октавной полосе;

$a_{экв,i}$ и $L_{a_{экв},i}$ — значения эквивалентного виброускорения, м/с^2, и его уровня, дБ, в i-й октавной полосе;

w_i, $L_{w,i}$ — значения функции частотной коррекции и ее уровня, дБ, для среднегеометрической частоты i-й октавной полосы.

Значения функций частотной коррекции и их уровней принимают по таблице 4.4.

Таблица 4.4 — Функции частотной коррекции

$f_{сг}$, Гц	Значение функции частотной коррекции							
	для виброскорости по осям				для виброускорения по осям			
	X, *Y*		*Z*		*X*, *Y* (W_d)		*Z* (W_k)	
	w_i	$L_{w,i}$, дБ	w_i	$L_{w,i}$, дБ	w_i	$L_{w,i}$, дБ	w_i	$L_{w,i}$, дБ
4	1	0	0,45	–7	0,5120	–5,82	0,9670	–0,29
8	1	0	0,9	–1	0,2530	–11,93	1,0360	0,31
16	1	0	1	0	0,1266	–17,95	0,7743	–2,22
31,5	1	0	1	0	0,0630	–24,01	0,4031	–7,89
63	1	0	1	0	0,0295	–30,62	0,1857	–14,62
Примечание — Для виброскорости значения w_i и $L_{w,i}$ приняты по СН 2.2.4/2.1.8.566 для виброускорения по ГОСТ 31191.1 и ГОСТ ИСО 8041—2006 (приложение В).								

4.3 Нормирование и критерии оценки структурного шума

4.3.1 В соответствии с СН 2.2.4/2.1.8.562 и СанПиН 2.2.4.3359 в качестве нормируемых параметров непостоянного структурного шума, создаваемого поездами железнодорожных линий в помещениях жилых и общественных зданий и на рабочих местах общественных зданий, принимают эквивалентный (по энергии) $L_{Аэкв}$ и максимальный $L_{Амакс}$ уровни звука, дБА. Допустимые и предельно допустимые значения нормируемых параметров структурного шума $L_{Аэкв,доп}$ и $L_{Амакс,доп}$ следует принимать в соответствии с таблицей 4.5.

Таблица 4.5 — Допустимые и предельно допустимые уровни структурного шума

Место оценки	Время суток	$L_{Аэкв,доп}$, дБА	$L_{Амакс,доп}$, дБА
Палаты больниц и санаториев, операционные больниц	с 7 до 23 ч с 23 до 7 ч	35 25	50 40
Кабинеты врачей поликлиник, амбулаторий, диспансеров, больниц, санаториев	—	35	50
Классные помещения, учебные кабинеты, учительские комнаты, аудитории учебных заведений, конференц-залы, читальные залы библиотек, зрительные залы клубов, залы судебных заседаний, культовые здания, зрительные залы клубов с обычным оборудованием	—	40	55
Музыкальные классы	—	35	50
Жилые комнаты квартир, жилые помещения домов отдыха, пансионатов, домов-интернатов для престарелых и инвалидов, спальные помещения в детских дошкольных учреждениях и школах-интернатах	с 7 до 23 ч с 23 до 7 ч	40 30	55 45
Жилые комнаты общежитий	с 7 до 23 ч с 23 до 7 ч	45 35	60 50
Номера гостиниц: - гостиницы, имеющие по международной классификации пять и четыре звезды	с 7 до 23 ч с 23 до 7 ч	35 25	50 40
- гостиницы, имеющие по международной классификации три звезды	с 7 до 23 ч с 23 до 7 ч	40 30	55 45
- гостиницы, имеющие по международной классификации менее трех звезд	с 7 до 23 ч с 23 до 7 ч	45 35	60 50
Помещения офисов, рабочие помещения и кабинеты административных зданий, конструкторских, проектных и научно-исследовательских организаций	—	50	65
Залы кафе, ресторанов, столовых	—	55	70
Фойе театров и концертных залов	—	45	—
Зрительные залы театров и концертных залов	—	30	—
Многоцелевые залы	—	35	—
Кинотеатры с оборудованием «Долби»	—	30	45
Примечание — Данные настоящей таблицы соответствуют допустимым и предельно допустимым уровням, установленным в СН 2.2.4/2.1.8.562-96 (таблица 3), СП 51.13330.2011 (таблица 1) и СанПиН 2.2.4.3359-16 (приложение 6).			

4.3.2 Оценки структурного шума на соответствие допустимым и предельно допустимым уровням следует проводить одновременно по эквивалентному и максимальному уровням звука так, что превышение одного из показателей должно рассматриваться как несоответствие санитарным правилам.

4.3.3 Значение нормируемых параметров следует определять или посредством измерений с помощью интегрирующих приборов, содержащих частотную коррекцию *A* шумомера, или расчетом по значениям уровней звукового давления в октавных полосах частот с $f_{сг}$ = 16; 31,5; 63; 125; 250 Гц

(при условии превышения значений параметров вибрации в указанных полосах в месте их задания над соответствующими параметрами фоновой вибрации более чем в два раза (на 6 дБ)) по формуле

$$L_A = 10\lg\sum_{i=1}^{5} 10^{(L_i+A_i)/10}, \quad (4.5)$$

где L_i — значение эквивалентного или максимального уровня звукового давления, дБ, в i-й октавной полосе;

A_i — значение частотной коррекции A шумомера, дБ, для среднегеометрической частоты i-й октавной полосы, принимаемое для рассматриваемых октавных полос по таблице 4.6 согласно ГОСТ 17187.

Таблица 4.6 — Частотная коррекция A шумомера

$f_{сг}$, Гц	16	31,5	63	125	250
A_i, дБ	–56,7	–39,4	–26,2	–16,1	–8,6

5 Прогноз вибрации, вызванной движением железнодорожных поездов

5.1 Общие положения

5.1.1 Расчет вибрации от движения железнодорожных поездов проводится при прогнозировании ожидаемых значений вибрации в зданиях, расположенных в зоне влияния существующих или проектируемых железнодорожных линий, с целью проверки их на соответствие санитарным требованиям, а также при разработке конкретных технических решений по виброзащите зданий и сооружений.

5.1.2 Требования по проектированию и реализации защиты от вибрации железнодорожных линий устанавливаются для нового строительства в случае:

а) проектирования и (или) строительства зданий вблизи действующих железнодорожных линий;

б) проектирования и (или) строительства зданий вблизи проектируемых или строящихся железнодорожных линий.

5.1.3 Требования по оценке степени вибрационного и шумового дискомфорта устанавливаются для существующих зданий:

а) при оценке воздействия действующей железнодорожной линии на здания;

б) оценке воздействия действующей железнодорожной линии в случае изменения категории или интенсивности обращения по ней подвижного состава на здания;

в) оценке воздействия проектируемой железнодорожной линии на здания.

5.1.4 Ориентировочное значение ширины зоны (полосы) влияния, считая от оси крайнего (внешнего) пути, составляет:

- до 200 м — железная дорога с обращением грузовых поездов;
- до 60 м — железная дорога без обращения грузовых поездов.

Ориентировочное значение ширины зоны (полосы) влияния, считая от оси крайнего (внешнего) пути для железнодорожных тоннелей составляет до 40 м.

5.1.5 Оценку вибрации от движения железнодорожных поездов в жилых, административных и общественных помещениях, палатах больниц, санаториев, школах и детских садах необходимо проводить в соответствии с разделом 4.2.

5.1.6 Определяемыми параметрами вибрации в соответствии с настоящим сводом правил являются:

- оценочные эквивалентные и максимальные значения виброскорости v_{max} и $v_{экв}$, м/с, и оценочные эквивалентные значения виброускорения a_{8h}, м/с^2, на рабочих местах общественных зданий в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 4—250 Гц;
- оценочные эквивалентные и максимальные корректированные значения виброскорости $v_{w,экв}$ и $v_{w,макс}$, м/с и оценочные эквивалентные корректированные значения виброускорения $a_{w,8h}$, м/с^2, на рабочих местах общественных зданий.

Эквивалентные значения виброускорения a, м/с^2, в октавных полосах частот рассчитывают из эквивалентных значений виброскорости v, м/с, в октавных полосах частот, используя соотношение для гармонической волны:

$$a = 2\pi f_{сг} v, \quad (5.1)$$

где $f_{сг}$ — среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц.

Определение корректированных значений виброскорости и виброускорения следует выполнять посредством измерений или расчетом по формулам (4.1)—(4.4), принимая функции частотной коррекции для вертикального и горизонтального направлений по таблице 4.4.

В качестве дополнительного параметра вибрации допускается использовать уровни виброскорости L_v и виброускорения L_a, дБ, определяемые по формуле

$$L_u = 20\lg(u/u_0), \quad (5.2)$$

где u — перечисленные в 5.1.6 параметры;

u_0 — пороговое значение, равное $5 \cdot 10^{-8}$ м/с для виброскорости и 10^{-6} м/с^2 для виброускорения.

5.1.7 При проектировании в селитебной зоне железнодорожных линий, а также при проектировании зданий и сооружений, попадающих в зону влияния линии железной дороги, необходимо выполнение условий (4.1.5, 4.2.2):

$$v_{w,экв} \le v_{w,экв,доп},\ v_{w,макс} \le v_{w,макс,доп},\ a_{w,экв} \le a_{w,экв,доп};$$
$$L_{v_{w,экв}} \le L_{v_{w,экв,доп}},\ L_{v_{w,макс}} \le L_{v_{w,макс,доп}},\ L_{a_{w,экв}} \le L_{a_{w,экв,доп}}, \quad (5.3)$$

где $v_{w,экв}$, $v_{w,макс}$ и $L_{v_{w,экв}}$, $L_{v_{w,макс}}$ — прогнозируемые оценочные величины виброскорости, м/с, и ее уровня, дБ, в рассматриваемом здании;

$a_{w,экв}$ и $L_{a_{w,экв}}$ — прогнозируемые оценочные величины виброускорения, м/с^2, и его уровня, дБ, в рассматриваемом здании;

$v_{w,экв,доп}$, $v_{w,макс,доп}$ и $L_{v_{w,экв,доп}}$, $L_{v_{w,макс,доп}}$ — допустимые величины виброскорости, м/с, и ее уровня, дБ, принимаемые в соответствии с подразделом 4.2;

$a_{w,экв,доп}$ и $L_{a_{w,экв,доп}}$ — допустимые величины виброускорения, м/с^2, и его уровня, дБ, принимаемые в соответствии с подразделом 4.2.

При проверке условий (5.3) в качестве ожидаемых значений вибрации в оцениваемом здании не допускается принимать значения, рассчитанные на поверхности грунта в месте расположения фундамента проектируемого здания.

5.1.8 В случае когда прогнозируемые значения вибрации превышают допустимые значения, т. е. имеет место нарушение условий (5.3), следует предусматривать специальные виброзащитные мероприятия и устройства в соответствии с разделами 7 и 8.

Выбор средств защиты от вибрации проводится с учетом их эффективности и экономической целесообразности.

5.1.9 Прогноз вибрации в зданиях и сооружениях, попадающих в зону влияния железной дороги, осуществляют в соответствии с ГОСТ Р ИСО 14837-1 в две стадии:

1) при оценке воздействия вибрации, создаваемой железнодорожным транспортом, на здания и сооружения, располагаемые в зоне влияния путей, на этапе предпроектной проработки следует пользоваться подразделом 5.2.

В этом случае определяют уровни вибрации в помещениях зданий и сооружений и проводят их оценку на соответствие разделу 4;

2) в случае наличия незначительных [до 1 дБ в низкочастотной области (ниже октавной полосы со среднегеометрической частотой 31,5 Гц) нормируемого диапазона], существенных (свыше 20 дБ в октавной полосе со среднегеометрической частотой 16 Гц) превышений уровней вибрации, полученных по результатам расчета по методике подраздела 5.2, а также для более детального проектирования систем виброизоляции пути или здания следует руководствоваться подразделом 5.3.

5.1.10 Динамические характеристики грунтов, необходимые для расчета величин вибрации в зданиях, определяют в процессе геологических изысканий или на основе лабораторных динамических испытаний по ГОСТ 12248, ГОСТ Р 56353 или прямых измерений на месте (методика приведена в [6]).

К динамическим параметрам грунтов относят:

а) динамический модуль упругости на частоте 10 и 30 Гц, E_{dyn10} (E_{dyn30}), Н/мм^2;

б) динамический модуль сдвига на частоте 10 и 30 Гц, G_{dyn10} (G_{dyn30}), Н/мм^2;

в) коэффициент потерь η;

г) коэффициент Пуассона ϑ;

д) скорость распространения продольных волн c_t, м/с;

е) скорость распространения поперечных волн c_l, м/с.

В рамках технического задания может быть внесено требование о предоставлении графика деградации модуля сдвига и коэффициента демпфирования.

Испытания для определения параметров а)—г) следует вести параллельно на приборе трехосного сжатия (диаметр образцов не менее 70 мм) и резонансной колонке (диаметр образцов не менее 50 мм)

по ГОСТ Р 56353. Используемое оборудование должно иметь свидетельства об утверждении типа средств измерений, утвержденное в установленном порядке, а также свидетельство о поверке. У организации, выполняющей испытания для определения динамических параметров, должна быть лицензия на осуществление деятельности, составляющей предмет технического задания, а также аттестат аккредитации грунтовой лаборатории с областью аккредитации, включающей ГОСТ Р 56353.

Ориентировочные значения параметров различных типов грунтов приведены в приложении А.

5.1.11 При выполнении оценки по 5.1.3 в качестве предельных значений ускорений на фундаменте существующих зданий допускается принимать a_{peak} = 15 см/с^2 — для слабых грунтов, a_{peak} = 25 см/с^2 — для плотных грунтов.

Влияние вибрации на осадки здания допускается оценивать с учетом таблицы Г.1 приложения Г.

5.2 Расчет на стадии предпроектной проработки

5.2.1 Общие положения

5.2.1.1 Прогнозирование значений виброскорости в зданиях и сооружениях и подбор виброзащитных мероприятий проводится в следующей последовательности:

а) оценивают значения вибрации верхнего строения пути железной дороги, при наличии соответствующих экспериментальных данных, или поверхности грунта на расстоянии 8 м от оси железной дороги в соответствии с 5.2.2, с учетом текущего состояния железнодорожного пути (оценка текущего состояния приведена в [2]) и скорости обращения подвижного состава в соответствии с 5.2.2.4 и 5.2.2.5;

б) задают или определяют исходное для расчета геологическое строение верхней части грунта основания земляного полотна: число и толщины слагающих слоев верхней части грунта общей толщиной $H \geq h + 10$ м, где h — удвоенная ширина балластной призмы [6];

в) определяют массовые, динамические упругие и диссипативные параметры слагающих грунтов: плотность, скорости продольных и поперечных волн и коэффициент потерь в каждом слое по 5.1.10;

г) определяют ожидаемые значения виброскорости на поверхности грунта в соответствии с 5.2.3;

д) определяют ожидаемые значения виброскорости поверхности фундамента здания в соответствии с 5.2.4;

е) определяют ожидаемые значения виброскорости несущих элементов здания (перекрытий и стен) в соответствии с 5.2.5;

ж) выполняют проверку условий (подраздел 5.3);

з) в случае нарушения условий (подраздел 5.3) осуществляют подбор и проектирование виброзащитных мероприятий в соответствии с разделом 7 или 8;

и) оценивают эффективность спроектированных виброзащитных мероприятий, повторно выполняя расчет по перечислениям г)—ж) настоящего пункта и проверку соответствия 5.1.7.

5.2.1.2 Вычисление виброскорости v, м/с, несущих и (или) ограждающих конструкций зданий и сооружений следует проводить по формуле

$$v = v_{u(p)} \cdot k_{trains} \cdot k_{speed} \cdot k_{rail} \cdot k_{edge} \cdot k_{fund} \cdot k_{rez} \cdot k_h, \quad (5.4)$$

где $v_{u(p)}$ — измеренный (рассчитанный) октавный спектр вертикальной и горизонтальных составляющих скорости колебаний поверхности грунта на абрисе фундамента здания или сооружения, м/с;

k_{trains} — поправочный коэффициент, учитывающий возможность одновременного движения по параллельным путям на рассматриваемом участке, определяют по 5.2.2.3;

k_{speed} — поправочный коэффициент, учитывающий скорость движения подвижного состава, определяют по таблице 5.2;

k_{rail} — поправочный коэффициент, учитывающий износ пути, колесных пар, наличие стрелочных переводов, переездов и прочих особых элементов пути, приводящих к существенному изменению динамической нагрузки на верхнее строение пути, определяют по таблице 5.1;

k_{edge} — частотно-зависимая функция, учитывающая наличие систем виброизоляции (в конструкции верхнего строения пути или здания). В случае ее отсутствия принимается равной единице в заданном частотном диапазоне;

k_{fund} — частотно-зависимая функция, характеризующая передачу вибрации с грунта на фундамент здания, определяют по 5.2.4;

k_{rez} — частотно-зависимая функция, соответствующая резонансному увеличению колебаний ограждающими поверхностями помещений, определяют по 5.2.5;

k_h — частотно-зависимая функция, учитывающая изменение колебаний по высоте здания, определяют по 5.2.4.6.

Указанные коэффициенты и частотно-зависимые функции допускается определять как путем расчета, так и на основании статистических данных натурных измерений. При применении результатов натурных измерений следует учитывать положения 5.2.2.2.

Формула (5.4) справедлива при вычислении нормируемых разделом 4 параметров как для вертикальной, так и для горизонтальной составляющих колебаний с учетом замены соответствующих частотно-зависимых функций в зависимости от направления воздействия.

5.2.1.3 В случае если измерения вибрации проводятся в точках на абрисе фундамента для всех категорий поездов, обращающихся по выбранной железнодорожной линии с установленными скоростями, коэффициенты k_{trains}, k_{speed} и k_{rail} принимают равными единице.

5.2.1.4 При движении поездов в тоннелях расчет допускается выполнять по методике [6], установленной при наличии исходной информации: скорости колебаний лотка и обделки тоннеля для категорий поездов, двигающихся по данной линии. Исходные данные определяются на основе прямых измерений на объекте-аналоге по ГОСТ 31185 с учетом 5.2.2.2.

5.2.2 Определение параметров исходного динамического воздействия

5.2.2.1 Определение параметров исходного динамического воздействия проводится в соответствии с приложением Б для каждой категории поездов (таблица 4.1), двигающихся по исследуемому участку линии железной дороги. При этом должен быть получен спектр исходного динамического воздействия в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 4—250 Гц, выделяющихся над уровнем фона [при условии превышения значений параметров вибрации в указанных полосах в месте их задания над соответствующими параметрами фоновой вибрации более чем в два раза (на 6 дБ)].

5.2.2.2 На стадии разработки технико-экономического обоснования (ТЭО) или предпроектных проработок величины исходного динамического воздействия (виброскорость верхнего строения пути, поверхности грунта на расстоянии от оси пути) допускается оценивать на основе результатов натурных измерений, проведенных на эксплуатируемых участках линий железной дороги (объект-аналог), имеющих аналогичную конструкцию верхнего строения пути, аналогичный парк подвижного состава, двигающегося на схожих с исследуемым участком скоростях, а также находящегося в аналогичных, как и проектируемый участок, инженерно-геологических условиях. При этом различие (между объектом-аналогом и исследуемым участком) свойств грунта, скорости движения поездов и осевой нагрузки не должно превышать 15 %.

5.2.2.3 При наличии двух и более путей напротив исследуемого (проектируемого) здания следует учитывать повышение вибрации в здании при движении поездов (таблица 4.1) одновременно по нескольким путям (при наличии такой технической возможности, иное должно быть обосновано) путем введения поправочного коэффициента к скорости колебаний $v_{и(р)}$, входящей в формулу (5.4), вычисляемого по формуле

$$k_{trains} = 1 + \sum_{i=2}^{m} \left(\frac{r}{r + r_i} \right)^n , \qquad (5.5)$$

где r — расстояние от середины ближнего пути до расчетной точки, м;

r_i — расстояние между серединами ближнего и i-го пути, м;

n — показатель степени, определяемый по таблице 5.3;

m — число путей, по которым возможно одновременное движение поездов.

5.2.2.4 Методика расчета применяется для существующих конструкций пути с малым износом, при его эксплуатации в соответствии с [1].

В случае износа пути или колесных пар подвижного состава, а также при расположении здания в зоне влияния особых конструкций пути [стрелочный перевод, стрелочная улица, переезд, безбалластная конструкция верхнего строения пути (ВСП)], необходимо применять поправочный коэффициент k_{rail} к оценочным значениям вибрации, приведенный в таблице 5.1.

Таблица 5.1 — Влияние конструкции пути

Наименование дефекта	Поправочный коэффициент k_{rail}, дБ (раз)
Износ или неровности на колесной паре[1)]	+10 дБ (3,162)
Изношенный рельс, волнообразный износ рельса[2)]	+10 дБ (3,162)
Переезд, стрелочный перевод, перекрестный съезд[3)]	+10 дБ (3,162)

Окончание таблицы 5.1

Наименование дефекта	Поправочный коэффициент k_{rail}, дБ (раз)
Изолирующий, изношенный, компенсирующий стык[4)]	+8 дБ (2,511)
Безбалластная конструкция пути	–3 дБ (0,708)
[1)] Дефекты на поверхности катания колеса или неравномерный износ колес может приводить к существенному повышению уровней вибрации. Это явление можно снизить благодаря обточке колесных пар. [2)] Если и колесная пара, и рельс изношены, применяется один поправочный коэффициент. Волнообразный износ рельса — типичная проблема, особенно в кривых и при значительной нагрузке на ось. Снижение этого фактора возможно с помощью шлифовки рельса. [3)] Воздействие колесной пары на стрелочном переводе в зоне крестовины существенно повышает уровни вибрации ВСП. Снижение этого фактора возможно за счет установки особых конструкций крестовин. [4)] Существенное повышение уровней вибрации на стыке связано с импульсным динамическим воздействием (ударом колеса об рельс). Снижение этого фактора возможно за счет применения бесстыкового пути.	

5.2.2.5 Поправку на скорость подвижного состава k_{speed}, дБ (раз), принимают в соответствии с таблицей 5.2.

Таблица 5.2 — Влияние скорости движения подвижного состава

Проектная скорость движения по участку, км/ч	k_{speed}, дБ (раз), при опорной скорости, км/ч		
	50	80	240
480	—	—	+6,0 дБ (1,995)
320	—	—	+2,5 дБ (1,333)
240	—	—	0,0 дБ (1,000)
160	—	—	–3,5 дБ (0,668)
120	—	—	–6,0 дБ (0,501)
100	+6,0 дБ (1,995)	+1,6 дБ (1,202)	—
80	+4,4 дБ (1,659)	0,0 дБ (1,000)	—
60	+2,5 дБ (1,333)	–1,9 дБ (0,804)	—
50	0,0 дБ (1,000)	–4,4 дБ (0,603)	—
30	–3,5 дБ (0,668)	–8,0 дБ (0,398)	—
Примечание — В общем случае уровень вибрации, дБ, пропорционален $20\lg(v/v_{ref})$, где v — проектная скорость движения поезда, v_{ref} — расчетное значение опорной скорости.			

5.2.2.6 Коэффициенты k_{speed} и k_{rail}, определяемые по 5.2.2.4 и 5.2.2.5, применяют в формуле (5.4) в октавных полосах, в которых уровень вибрации при движении поездов железной дороги выделяется над уровнем фоновой вибрации.

5.2.3 Определение ожидаемых значений вибрации поверхности грунта на расстоянии от линии

5.2.3.1 В случае отсутствия достаточного количества экспериментальных данных или выполнения оценки по 5.1.2 б) и (или) 5.1.3 б), 5.1.3 в), допускается виброскорость колебаний грунта v, м/с, в точке на расстоянии r, м, от источника колебаний определять по известной виброскорости v_0, м/с, колебаний грунта на расстоянии r_0, м, от оси ближнего железнодорожного пути произведением ее на коэффициент геометрического ослабления C и коэффициент демпфирования материала D по формуле

$$v(r) = v(r_0) \cdot C \cdot D. \quad (5.6)$$

При ориентировочных расчетах можно использовать значения $v(r_0)$, приведенные в таблице В.1 приложения В для опорного расстояния $r_0 = 16$ м.

Параметры C и D, входящие в формулу (5.6), оценивают по следующим зависимостям по ГОСТ Р ИСО 10137—2016 (приложение В):

$$C = \left(\frac{r_0}{r}\right)^n, \quad (5.7)$$

$$D = e^{-\rho\pi f_{cr}(r-r_0)}, \quad (5.8)$$

где n — показатель степени, выбираемый в зависимости от типа механизма распространения волн по таблице 5.3;

f_{cr} — среднегеометрическая частота октавной полосы, Гц;

$\rho = \eta/c$ — параметр, определяемый по таблице 5.4 или вычисляемый исходя из результатов динамических испытаний грунта по 5.1.10;

η — коэффициент потерь грунта, $\eta = \delta/\pi$, где δ — логарифмический декремент колебаний;

c — скорость продольной волны, м/с.

5.2.3.2 Значения коэффициента потерь грунта, а также параметры формул (5.6)—(5.8) рекомендуется верифицировать с данными натурных измерений на конкретной площадке застройки (допускается проводить в рамках более детальной проработки проекта по подразделу 5.3).

Таблица 5.3 — Значения n в зависимости от расположения источника и точки наблюдения

Положение источника	Положение точки наблюдения	n
На поверхности	На поверхности	0,25
На поверхности	В толще грунта	1,0
В толще грунта	На поверхности	0,5
В толще грунта	В толще грунта	0,5

Таблица 5.4 – Значения ρ в зависимости от типа грунта

Тип грунта	Описание	ρ, с/м
1	Дисперсные несвязные, в т. ч. техногенные грунты: - лессовые - топкие - речной песок - дюнный песок - органические - поверхностный слой грунта	$2\cdot10^{-4} \div 6\cdot10^{-4}$
2	Дисперсные несвязные и связные осадочные и элювиальные грунты: - пески - супеси, суглинки - пылеватые глины - гравий, щебень - пылеватые пески, ил	$6\cdot10^{-5} \div 2\cdot10^{-4}$
3	Дисперсные и скальные грунты: - плотный песчаник - сухая уплотненная глина - уплотненная валунная морена, ледниковые тиллиты	$6\cdot10^{-6} \div 6\cdot10^{-5}$
4	Скальные грунты: - горная порода, материковый грунт - скальная порода	$< 6\cdot10^{-6}$
Примечание — Классификация грунтов приведена в соответствии с ГОСТ 25100.		

5.2.4 Определение уровней вибрации фундамента здания

5.2.4.1 Для зданий с ленточными или плитными фундаментами определяют его частоты свободных колебаний f_{bs}, Гц, как жестких конструкций на упругом основании расчетом по апробированной методике в сертифицированном программном комплексе или по формуле

$$f_{bs} = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k_s}{m_b}}, \quad (5.9)$$

где k_s — жесткость грунта основания, Н/м;

m_b — масса здания, кг.

При определении массы здания m_b, кг, учитывается действие постоянных и временных нагрузок в соответствии с СП 20.13330 для их нормативных значений. Жесткость грунта основания под зданием рассчитывается на основании СП 26.13330 и данных физико-механических испытаний грунтов.

Для зданий, расположенных на свайном основании, расчет следует проводить в соответствии с подразделом 5.3.

5.2.4.2 Для частот внешнего воздействия, превышающих f_{bs}, амплитуды колебаний фундамента здания оказываются ниже амплитуд колебаний грунта. При совпадении частоты внешнего воздействия и собственной частоты сооружения передаточная функция может быть определена по формуле

$$k_{fund} = \frac{\sqrt{1+\eta^2}}{\eta}, \tag{5.10}$$

где η — коэффициент потерь грунта, определяемый по 5.1.10.

5.2.4.3 Передаточная функция для фундамента как массивного тела на упругом основании определяется по формуле

$$k_{fund} = \sqrt{\frac{1+z^2\eta^2}{\left(z^2-1\right)^2+z^2\eta^2}}, \tag{5.11}$$

где $z = \frac{f_{bs}}{f}$ — коэффициент расстройки;

η — коэффициент потерь грунта, определяемый по 5.1.10.

5.2.4.4 Скорость колебаний фундамента здания определяется в каждой октавной полосе по формуле

$$v_{fund,i}(f) = v_i(f)k_{fund,i}, \tag{5.12}$$

где $v_i(f)$ — виброскорость колебаний грунта в исследуемой точке вблизи фундамента в i-й октавной полосе частот, м/с, определяемая по формуле (5.6) или по данным натурных измерений в соответствии с приложением Б;

$k_{fund,i}$ — значение передаточной функции для i-й октавной полосы частот, определяемое по формулам (5.10), (5.11).

5.2.4.5 Если определить упруго-дисипативные характеристики грунта основания не представляется возможным, а также для проверки адекватности вычисления передаточной функции для фундаментов сложных типов, допускается принимать передаточную функцию k_{fund} для перехода с грунта на фундамент здания по кривым рисунка 5.1.

Кривая 2 на рисунке 5.2 может быть использована для вычисления передаточных функций для зданий малого объема и нормальных грунтовых условий (скорость распространения продольных волн около 200 м/с). Если грунт мягче или жестче (скорость распространения продольных волн отличается в среднем более чем в два раза), следует пользоваться кривой 3 или 1, соответственно. Если исследуется высотное здание, следует пользоваться кривой 3.

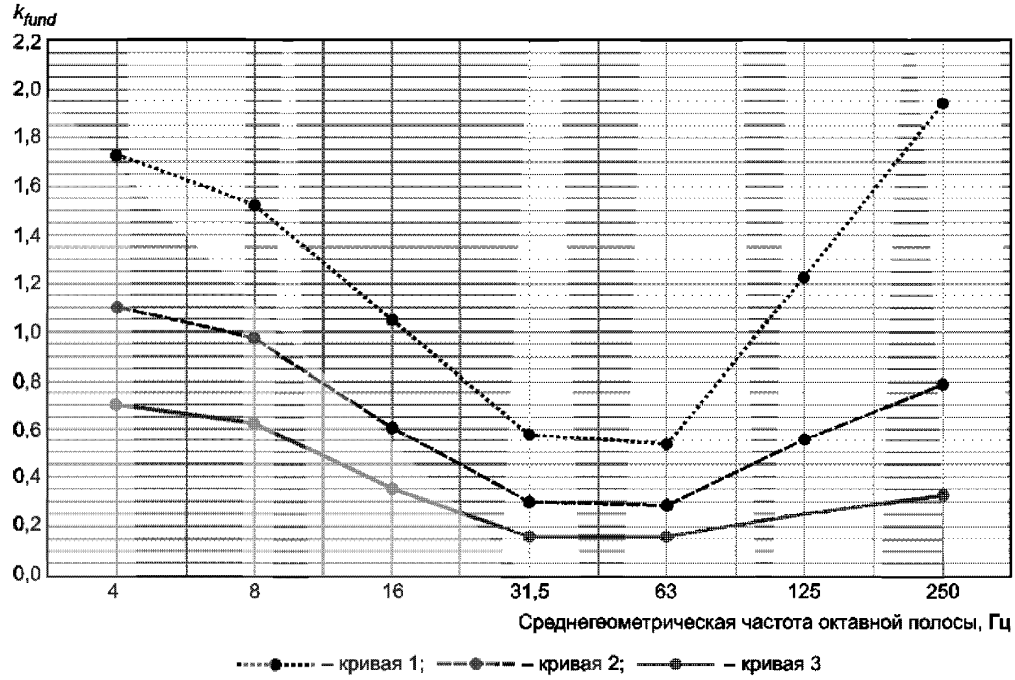


Рисунок 5.1 — Передаточная функция k_{fund}

5.2.4.6 В рамках применения оценочной методики прогнозирование, распространение колебаний по зданию допускается не учитывать «в запас» расчетной модели, принимая передаточную функцию $k_h = 1$.

5.2.4.7 При расположении высотных зданий (СП 267.1325800) вблизи линий железной дороги или при расположении здания на слабых грунтах рекомендуется дополнительно учитывать возможный резонанс конструкции здания в горизонтальном направлении.

5.2.4.8 Для высотных зданий (СП 267.1325800) с постоянной высотой этажа или протяженных с постоянным шагом несущих конструкций необходимо также проводить исследования параметрического резонанса при совпадении частоты внешнего воздействия с периодической структурой здания.

5.2.5 Определение уровней вибрации стен и перекрытий в расчетном помещении здания

5.2.5.1 Расчет значений резонансного увеличения амплитуд колебаний конструкций производится для изгибаемых элементов зданий и сооружений.

Используя проектную документацию на исследуемое здание, выделяют группы элементов сопоставимых геометрических размеров в плане, наиболее часто встречающихся в исследуемом здании или сооружении, с учетом их назначения.

Определяют их расчетную схему с учетом условий закрепления в несущих конструкциях.

5.2.5.2 Для выбранных типовых групп изгибаемых элементов определяют их резонансные частоты и передаточные функции k_{rez} в октавных полосах частот, попадающих в диапазон частот, выделяющихся над уровнем фоновой вибрации.

Расчетная схема для перекрытий зданий должна учитывать наличие (влияние) внутренних перегородок, а также изменение поперечного сечения изгибаемого элемента.

Расчет рекомендуется проводить в рамках численного моделирования в программных комплексах, построенных по методу конечного элемента (МКЭ). Для простых перекрытий в плане (квадратные, круглые, прямоугольные) допускается использовать расчетные формулы строительной механики и теории упругости.

5.2.5.3 Основываясь на полученном значении резонансной частоты ограждающей конструкции, ее передаточную функцию определяют по графикам рисунка 5.2, *а, б* для бетонных и деревянных конструкций соответственно.

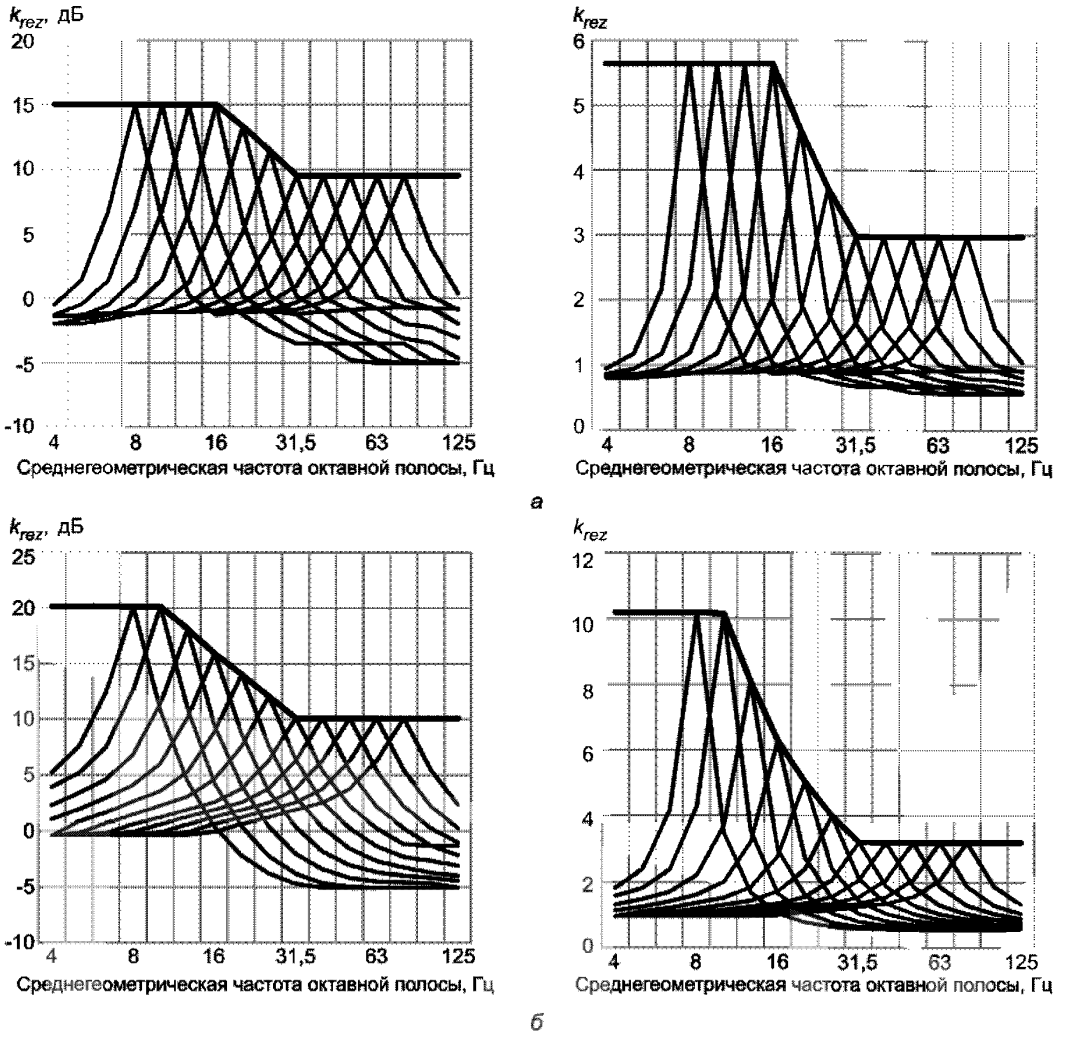


Рисунок 5.2 — Частотно-зависимые функции k_{rez} для бетонных (*а*) и деревянных (*б*) конструкций

5.3 Расчет на стадии разработки проекта

5.3.1 Общие положения

5.3.1.1 При детальном прогнозировании уровней вибрации в помещениях зданий, расположенных вблизи железнодорожных линий, следует разрабатывать детальные расчетные математические модели, например используя метод конечных элементов (МКЭ), метод граничных элементов (МГЭ) или другие апробированные методы строительной механики. Допускается совмещение указанных методов в рамках единой расчетной модели.

При разработке модели необходимо опираться на основные характеристики источника вибрации, пути ее распространения и объекта воздействия по ГОСТ Р ИСО 14837-1—2007 (приложение А).

5.3.1.2 Прогноз допускается выполнять по формуле (5.4), в которой необходимые передаточные функции k_{edge}, k_{fund}, k_{rez}, k_h определяют на основании расчета по модели 5.3.1.1.

5.3.2 Общие требования к расчетной модели

5.3.2.1 Расчетная модель должна удовлетворять ГОСТ Р ИСО 14837-1—2007 (8.2.2.3, 8.2.2.4) и учитывать физические особенности взаимодействия подвижного состава с ВСП, распространения и видоизменения колебательной энергии при распространении волнового фронта от ВСП по грунту до здания, перехода в здание и распространения по зданию в соответствии с ГОСТ Р ИСО 14837-1—2007 (приложение А).

5.3.2.2 Характеристики материалов расчетной модели должны учитывать воздействие длительного нагружения и их старение на расчетный срок службы сооружения. Расчетный срок службы сооружения должен определять генеральный проектировщик по согласованию с заказчиком. Рекомендуемые сроки службы зданий и сооружений приведены в таблице 1 ГОСТ 27751—2014.

5.3.2.3 Расчеты по численным моделям МКЭ и МГЭ допускается проводить при использовании гармонического сигнала на каждой среднегеометрической частоте исследуемого диапазона третьоктавных полос. Представление результатов в октавной полосе частот нормируемого диапазона осуществляется с помощью энергетического суммирования.

5.3.3 Верификация расчетной модели

5.3.3.1 Перед применением в целях прогноза, расчетная модель должна быть верифицирована с результатами натурных испытаний, т. е. должна быть построена модель пути и здания с учетом 5.3.3.2.

5.3.3.2 Для целей верификации должен быть выбран участок линии железной дороги, для которого известны:

а) конструкция верхнего строения пути (продольный, поперечный профили);

б) скорость и тип подвижного состава категорий, указанных в таблице 4.1;

в) результаты инженерно-геологических изысканий с динамическими характеристиками грунтов по 5.1.10;

г) геоподоснова с указанием оси железнодорожной линии и посадкой здания, конструктивные и архитектурные чертежи здания;

д) результаты измерений вибрации ВСП, грунта вблизи фундамента, на фундаменте и в помещениях здания, выполненных в соответствии с приложением Б.

5.3.3.3 Расчетная модель должна учитывать 5.3.3.2. По результатам расчетов должно быть показано соответствие результатов вычислений и результатов натурных измерений:

1) для определения соответствия затухания колебаний в грунте с удалением от оси трассы;

2) определения затухания (видоизменения) спектра колебаний при переходе с грунта на фундамент сооружения;

3) определения видоизменения колебаний при распространении по конструкциям здания.

5.3.3.4 Расчетная модель считается верифицированной в случае если расхождение между результатами расчета и результатами натурных измерений не превышает 15 %. В противном случае расчетную модель для целей прогноза использовать нельзя и требуется ее переработка.

Результаты верификации следует оформлять отдельным отчетом и прикладывать к результатам прогноза.

6 Расчет уровней структурного шума

6.1 Общие положения

6.1.1 Расчет уровней структурного шума выполняют для помещений жилых и общественных зданий, указанных в подразделе 4.3.

6.1.2 Для здания выбирают характерные помещения, т. е. помещения самого большого, самого малого и промежуточного между ними объемов.

6.1.3 Расчет проводят в предположении, что оконные и дверные проемы отсутствуют, а перекрытия, межквартирные и межкомнатные перегородки, а также внешние стены не облицованы, не покрыты звукопоглощающими элементами, мебель в помещении отсутствует.

6.1.4 Уровни вибраций перекрытий принимают по результатам расчетной оценки вертикальной вибрации, а уровни вибраций стен — по результатам аналогичной оценки уровней горизонтальной вибрации.

6.1.5 Расчет проводят для максимальных и эквивалентных уровней вибрации ограждений в соответствии с подразделом 6.2.

6.1.6 Пересчет значений виброскоростей, м/с, в уровни виброскорости, дБ, выполняют по формуле (5.2).

6.2 Определение уровней структурного шума

6.2.1 Уровень звукового давления L в помещении, излучаемый отдельным ограждением, связан со средним уровнем виброскорости L_v этого ограждения зависимостью:

$$L = [L_v] + 10\lg(sFIB), \qquad (6.1)$$

где s — коэффициент излучения ограждения;

F — площадь ограждения, м^2;

B — акустическая постоянная рассматриваемого помещения, определяемая по СП 271.1325800.

6.2.2 Уровень вибрации ограждений определяют в соответствии с разделом 5.

Для ограждений оценивают колебания по направлениям, перпендикулярным плоскости ограждения, т. е. для стен — в горизонтальных направлениях X и Y, для пола и потолка — в вертикальном направлении Z.

Средний уровень виброскорости излучающей конструкции вычисляют исходя из уровня вибраций центра ограждения путем введения поправки минус 7,8 дБ для первой резонансной частоты в предположении, что закон распределения динамических прогибов по площади ограждения имеет синусоидальный характер и во всем анализируемом диапазоне частот рассматривается исключительно резонансный режим колебаний ограждений.

6.2.3 Коэффициент излучения ограждения, рассматриваемого в виде пластины, закрепленной по контуру, при возбуждении в ней изгибных колебаний оценивают по формуле

$$s = \begin{cases} \dfrac{\Pi c_0}{\pi^2 F f_{кр}} \sqrt{\dfrac{f}{f_{кр}}} & \text{при } f < f_{кр} \\ 1 \text{ при } f \geq f_{кр} \end{cases}, \qquad (6.2)$$

где Π и F — периметр, м, и площадь, м^2, пластины;

c_0 — скорость звука в воздухе, м/с;

$f_{кр}$ — критическая частота, Гц.

6.2.4 Значение $f_{кр}$ определяют из условия равенства длины изгибной волны в пластине длине волны в воздухе, по формуле

$$f_{кр} = \frac{c_0}{1{,}8 c_п d}, \qquad (6.3)$$

где $c_п$ — скорость продольной волны в материале пластины, м/с;

d — толщина пластины, м.

6.2.5 Общий уровень звукового давления в помещении определяют энергетической суммой уровней, излучаемых отдельными ограждающими поверхностями — стенами и перекрытиями, по формуле

$$L_{общ} = 10 \lg \sum_{i=1}^{6} 10^{0{,}1 L_i}. \qquad (6.4)$$

6.2.6 Значения нормируемых параметров вычисляют из полученных значений $L_{общ,экв}$ и $L_{общ,макс}$ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 16; 31,5; 63; 125 и 250 Гц по 4.3.3.

7 Виброизоляция верхнего строения пути

7.1 Общие положения

7.1.1 Наиболее эффективный способ снижения вибрации в зданиях, расположенных вблизи линии железной дороги — виброизоляция «в источнике» [6], т. е. виброизоляция верхнего строения пути железной дороги.

7.1.2 Снижение динамической нагрузки, создаваемой подвижным составом железной дороги и передаваемой далее по грунту на здание, возможно за счет снижения жесткости пути.

7.1.3 Необходимость разработки виброзащитной конструкции верхнего строения пути устанавливается в результате выполнения следующей предварительной процедуры:

а) оценивают значения вибрации в помещениях здания, а также на его фундаменте (или этажах) в соответствии с разделом 5;

б) проверяют условия (5.3). В случае их невыполнения сопоставляют эквивалентные и/или максимальные значения виброскорости (эквивалентные значения виброускорения) в октавных полосах частот с $f_{сг}$ = 4—63 Гц с выделяющимися над фоном значениями виброскорости с предельными значениями виброскорости (виброускорения), равными нормативным значениям по СН 2.2.4/2.1.566-96 (таблицы 8—10), соответствующим допустимым эквивалентным и максимальным корректированным

значениям виброскорости таблицы 4.2 (предельно допустимым эквивалентным корректированным значениям виброускорения таблицы 4.3), и вычисляют превышения в октавных полосах нормируемого диапазона;

в) подбирают виброзащитные мероприятия с учетом прогнозируемых превышений в октавных полосах нормируемого диапазона в соответствии с разделом 7 или 8.

7.1.4 Динамические характеристики грунтов, необходимые для расчета уровней вибрации и подбора параметров виброзащитной конструкции, определяют по 5.1.10.

7.1.5 Виброзащитная конструкция верхнего строения пути должна соответствовать СП 119.13330 (при соответствующем обосновании и/или требовании технического задания) и ГОСТ 32192, обеспечивать равномерное распределение на земляное полотно и искусственные сооружения нагрузки от железнодорожного подвижного состава, стабильность геометрических параметров рельсовой колеи, прочность и надежность всех составных элементов, а также устойчивость рельсошпальной решетки от сдвига в горизонтальной и вертикальной плоскостях под воздействием внешних и внутренних сил.

Указанные характеристики виброзащитной конструкции верхнего строения пути должны быть обоснованы расчетом в соответствующих разделах проектной документации.

7.1.6 Виброзащитная конструкция верхнего строения пути должна рассчитываться по нормам воздействия на железнодорожный путь железнодорожного подвижного состава (например, [4]) в соответствии с ГОСТ Р 55050 при указанных в таблице 4.1 скоростях движения.

7.2 Требования к материалам

7.2.1 Все элементы ВСП должны обеспечивать свои эксплуатационные показатели в диапазоне температур от минус 60 °С до плюс 50 °С в течение срока службы пути, если иное не указано в задании на проектирование.

7.2.2 Упругие элементы ВСП должны иметь расчетную статическую и динамическую жесткости в течение срока службы конструкции верхнего строения пути, если иное не указано в задании на проектирование.

7.2.3 Динамические характеристики упругих элементов ВСП должны быть подтверждены соответствующими испытаниями в условиях, максимально приближенных к реальным. Протоколы испытаний должны содержать данные о статических и динамических характеристиках применяемых материалов в зависимости от температурно-влажностного режима эксплуатации, диапазона нагрузок, числа циклов нагружения, сведения об изменении этих показателей в течение жизненного цикла изделия, устанавливаемого в задании на проектирование.

7.2.4 Заявляемые технические характеристики упругих элементов, применяемых в виброзащитной конструкции верхнего строения пути по 7.4.2, должны быть подтверждены результатами испытаний, выполненных в соответствии с положениями действующих нормативных документов по определению механических характеристик упругих элементов с учетом 7.2.3.

7.2.5 Перечень заявляемых технических характеристик упругих элементов виброзащитной конструкции верхнего строения пути должен соответствовать ГОСТ Р ИСО 2017-2.

7.3 Расчетное обоснование динамических характеристик виброзащитной конструкции ВСП

7.3.1 Основная характеристика упругих свойств пути — модуль упругости пути, представляющий собою погонный упругий отпор подрельсового основания, отнесенный к единице прогиба. Модуль упругости пути и жесткость подрельсового основания [3] связаны зависимостью

$$U = \frac{Ж}{l}, \tag{7.1}$$

где U — модуль упругости пути, МПа;

Ж — жесткость подрельсового основания, кН/мм;

l — расстояние между осями соседних шпал, м, принимаемое в зависимости от числа шпал на 1 км пути по СП 119.13330.

7.3.2 Жесткость подрельсового основания определяют, исходя из жесткости его отдельных элементов по формуле

$$\frac{1}{Ж} = \sum \frac{1}{Ж_i}, \tag{7.2}$$

где $Ж_i$ — жесткость отдельных элементов конструкции пути, кН/мм, при заданном удельном давлении на них.

7.3.3 Модуль упругости безбалластного пути при известной жесткости узла скрепления для эпюры подрельсовых опор 2000 шт./км и 1840 шт./км приведен в таблицах 7.1 и 7.2 соответственно.

Таблица 7.1 — Модуль упругости пути при эпюре подрельсовых опор 2000 шт./км

$Ж_{доп.}$, кН/мм	Модуль упругости пути, МПа, при жесткости узла рельсового скрепления, $Ж_{скр}$, кН/мм							
	50	60	70	80	90	100	125	150
100	66,7	75,0	82,4	88,9	94,7	100,0	111,1	120,0
90	64,3	72,0	78,8	84,7	90,0	94,7	104,7	112,5
80	61,5	68,6	74,7	80,0	84,7	88,9	97,6	104,3
70	58,3	64,6	70,0	74,7	78,8	82,4	89,7	95,5
60	54,5	60,0	64,6	68,6	72,0	75,0	81,1	85,7
50	50,0	54,5	58,3	61,5	64,3	66,7	71,4	75,0
40	44,4	48,0	50,9	53,3	55,4	57,1	60,6	63,2
30	37,5	40,0	42,0	43,6	45,0	46,2	48,4	50,0
20	28,6	30,0	31,1	32,0	32,7	33,3	34,5	35,3

Таблица 7.2 — Модуль упругости пути при эпюре подрельсовых опор 1840 шт./км

$Ж_{доп.}$, кН/мм	Модуль упругости пути, МПа, при жесткости узла рельсового скрепления, $Ж_{скр}$, кН/мм							
	50	60	70	80	90	100	125	150
100	61,3	69,1	75,8	81,8	87,2	92,1	102,3	110,5
90	59,1	66,3	72,5	78,0	82,9	87,2	96,4	103,6
80	56,6	63,1	68,8	73,7	78,0	81,8	89,8	96,1
70	53,7	59,5	64,5	68,8	72,5	75,8	82,6	87,9
60	50,2	55,2	59,5	63,1	66,3	69,1	74,7	78,9
50	46,0	50,2	53,7	56,7	59,2	61,4	65,8	69,1
40	40,9	44,2	46,9	49,1	51,0	52,6	55,8	58,2
30	34,5	36,8	38,7	40,2	41,4	42,5	44,6	46,0
20	26,3	27,6	28,6	29,5	30,1	30,7	31,8	32,5

Примечание — При пользовании таблицами 7.1 и 7.2 для соответствующего значения жесткости узла рельсового скрепления $Ж_{скр}$ находим значение требуемого модуля упругости пути. Значение в левой графе таблиц показывает требуемую дополнительную жесткость $Ж_{доп.}$ упругого слоя (подшпальной прокладки, подбалластного мата, системы «масса—пружина» и т. д.). В случае если требуемое значение находится между приведенными в настоящих таблицах, применяют линейную интерполяцию.

7.3.4 Виброизоляция эффективна начиная с частоты, превышающей собственную частоту в $\sqrt{2}$ раз, как показано на рисунке 7.1. Собственная частота, Гц, виброзащитной системы определяется расчетом по апробированной методике в сертифицированном программном комплексе или по формуле

$$f_{0.ВСП}=\frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{Ж}{m_{unsp}}}, \quad (7.3)$$

где Ж — жесткость (динамическая) подрельсового основания, кН/мм;

m_{unsp} — колеблющаяся масса, кг, представляющая собой сумму необрессоренных масс тележки подвижного состава, а также конструкции ВСП (рельса, промежуточного скрепления, шпалы или полушпалка, бетона путевой плиты, балласта и т. д.), приходящуюся на одну подрельсовую опору.

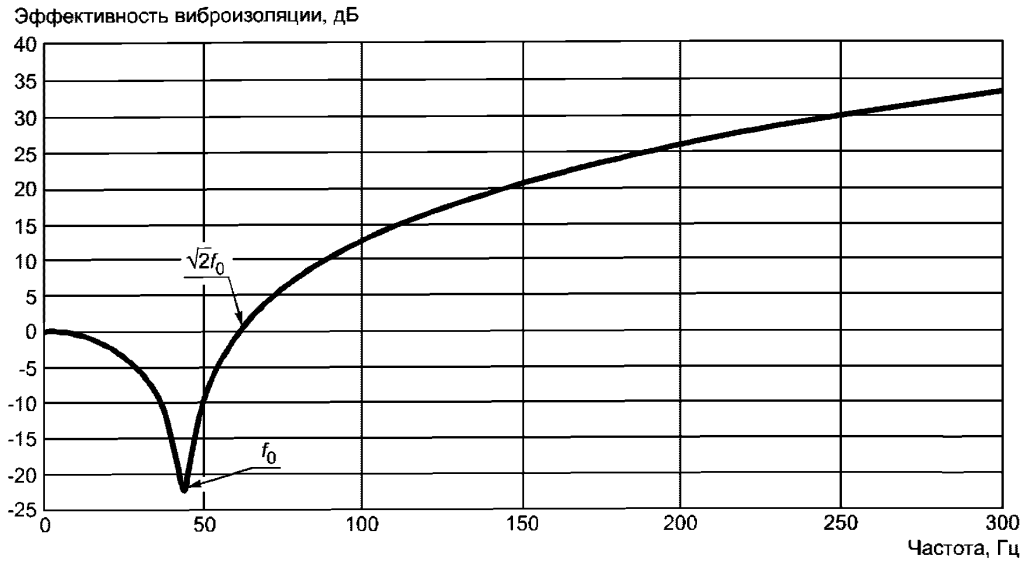


Рисунок 7.1 — Эффективность одномассовой виброзащитной системы

7.3.5 Статические и динамические характеристики материалов, применяемых в виброзащитных конструкциях верхнего строения пути, назначаются с учетом 7.2.3. При этом оценка эффективности виброизоляции производится с учетом изменения динамических характеристик упругих элементов ВСП в течение всего жизненного цикла изделия.

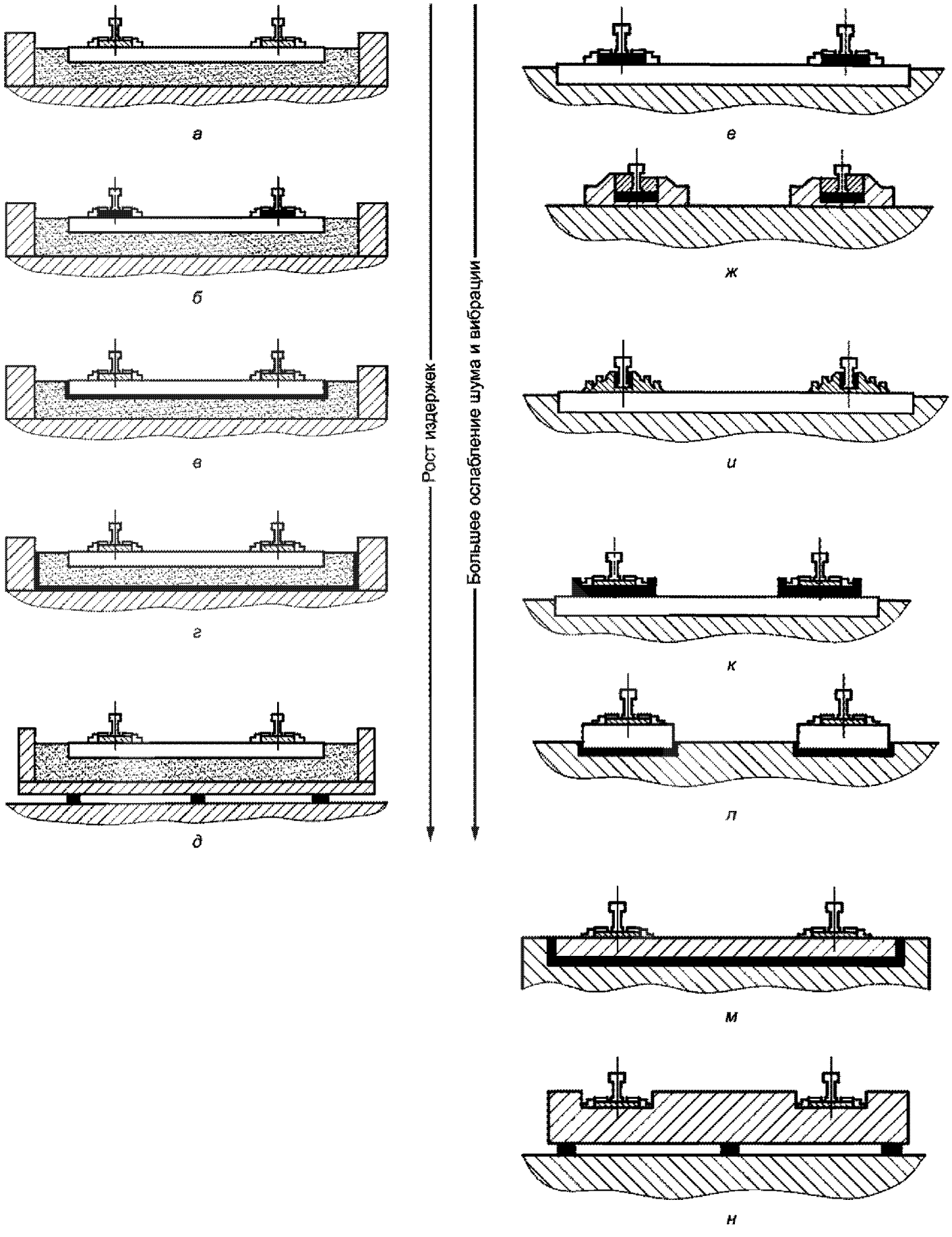
7.3.6 Не допускается применение виброзащитных конструкций верхнего строения пути при совпадении их частоты свободных колебаний с доминирующей частотой спектра воздействия от подвижного состава. Иное должно быть обосновано расчетом.

7.4 Правила проектирования виброзащитной конструкции верхнего строения пути

7.4.1 Решение о применении конкретного типа ВСП принимают на основании ТЭО.

7.4.2 Типовые виброзащитные конструкции верхнего строения пути по ГОСТ Р ИСО 14837-1 приведены на рисунке 7.2 совместно с ориентировочной оценкой их виброзащитной эффективности и стоимости.

Примечание — Комбинация технических решений, используемых для снижения передаваемой вибрации (переизлучаемого структурного шума) в разных типовых конструкциях пути, не позволяет, как правило, повысить эффективность виброзащитной конструкции пути из-за возможного внутреннего резонанса системы виброизоляции.



а — типовая балластная конструкция пути; *б* — балласт с упругими подрельсовыми прокладками/сплошное опирание рельса; *в* — балласт с упругой подшпальной прокладкой; *г* — балласт на упругом подбалластном мате; *д* — плавающее балластное корыто; *е* — типовая безбалластная конструкция пути; *ж* — заглубленный рельс в упругой оболочке на бетонном основании; *и* — упругие подрельсовые прокладки на бетонном основании; *к* — упругие прокладки под рельсовое скрепление на бетонном основании; *л* — блоки/шпалы в упругом чехле; *м* — плавающая плита с непрерывным опиранием на бетон (система «масса—пружина»); *н* — плавающая плита с точечным опиранием на бетон (система «масса—пружина»).

Рисунок 7.2 — Виброзащитные конструкции верхнего строения пути

7.4.3 Факторы, требующие первоочередного рассмотрения при выборе конструкции пути по ГОСТ Р ИСО 14837-1:

а) безопасность, учитывающая, в том числе:
- механические напряжения в рельсе,
- действующие силы в болтовых соединениях и противоугонах,
- статические и динамические прогибы рельса,
- пространственную скорость изменения статических и динамических прогибов по длине рельса,
- усталостные напряжения в элементах пути;

б) капитальные издержки, учитывающие, в том числе:
- сложность конструкции пути,
- дополнительные элементы специального назначения,
- время строительства и привлекаемые людские ресурсы;

в) издержки за время эксплуатации (включая техническое обслуживание), учитывающие, в том числе:
- срок службы элементов пути,
- легкость доступа к элементам с малым сроком службы для их замены;

г) удобство пассажиров, учитывающее, в том числе:
- статические и динамические прогибы рельсов,
- влияние динамики рельсового пути на ходовые качества транспортного средства и его вибрацию;

д) надежность;

е) время коммерческой эксплуатации (общее время эксплуатации за вычетом периодов технического обслуживания);

ж) характеристики качества рельсов (их неровность, скорость роста выбоин).

7.4.4 Характеристики надежности, эксплуатационной готовности, ремонтопригодности и удобства обслуживания, определяемые проектирующей и эксплуатирующей организациями с учетом вышеперечисленных факторов, назначаются для каждой конструкции пути в отдельности.

В проекте должна быть представлена оценка безопасности и эксплуатационных качеств разработанных проектных решений виброизолированных конструкций ВСП.

7.4.5 Требования, необходимые для обеспечения заданных характеристик надежности, эксплуатационной готовности, ремонтопригодности и удобства обслуживания, могут вступать в противоречие с решениями, обеспечивающими ослабление передаваемой через грунт вибрации и переизлучаемого шума. Поэтому необходимо, чтобы эти решения были составной частью комплексного проектирования новых линий железной дороги.

7.4.6 Оценочные виброзащитные свойства конструкций ВСП приведены в таблице 7.3.

Таблица 7.3 — Сравнительные виброзащитные свойства различных конструкций ВСП

Тип конструкции	Снижение уровня вибраций[1] от подвижного состава, дБ (раз)
Железобетонные шпалы с упругими промежуточными скреплениями на щебеночном балласте[2]	0—3 (1—1,4)
Железобетонные шпалы с упругими промежуточными скреплениями и (или) упругими подшпальными прокладками на щебеночном балласте[2]	6—8 (2—2,5)
Железобетонные шпалы с упругими промежуточными скреплениями. Балластная призма на подбалластном мате с толщиной щебня не менее 25 см	10—18 (3,2—7,9)
Безбалластный путь с омоноличенными в путевом бетоне подрельсовыми опорами с типовыми упругими промежуточными скреплениями	0 (1)
Безбалластный путь с подрельсовыми опорами, омоноличенными в путевом бетоне через упругий слой с расчетной (пониженной) жесткостью	6—2 (2—4)
Безбалластный путь системы «масса—пружина»	25—30 (17,8—31,6)

[1] Оценивается в третьоктавной полосе со среднегеометрической частотой 31,5 Гц.
[2] Не требует реконструкции тоннеля.

7.4.7 Между типовой конструкцией пути и виброзащитной необходимо устройство переходного участка. Разработка конструкций переходного участка осуществляется из условия обеспечения по длине плавного изменения упругих осадок и минимальных значений остаточных осадок пути под колесами,

возникающих в процессе длительной эксплуатации. При этом в качестве критерия изменения жесткости пути [3] принимается силовой уклон по головке рельса, определяемый по формуле

$$|i_y| = \frac{1}{10v} \le 0{,}5\ ‰, \qquad (7.4)$$

где v — наибольшая скорость движения поездов, км/ч.

Приращение силового уклона по головке рельса $|\Delta i_y| \le 0{,}2$ ‰.

Разность давлений на смежные опоры рельса $|\Delta Q| \le 12$ кН.

7.4.8 Расчет нагрузок и напряжений в элементах виброзащитной конструкции верхнего строения пути от воздействия подвижного состава приведен в [4].

8 Виброизоляция зданий

8.1 Общие положения

8.1.1 Порядок оценки вибрации от движения поездов железной дороги необходимо проводить в соответствии с разделом 5.

При оценке эффективности разрабатываемого мероприятия по снижению избыточных значений вибрации необходимо учитывать нормируемые октавные диапазоны частот 4—63 Гц, а при контроле структурного шума — диапазон 63—250 Гц.

8.1.2 При проектировании виброзащитных мероприятий в зданиях, расположенных в пределах селитебной территории, следует выполнять условия (5.3).

8.1.3 Необходимость разработки системы виброизоляции здания устанавливают по результатам выполнения следующей предварительной процедуры:

а) оценивают значения вибрации в помещениях здания в соответствии с разделом 5;

б) проверяют условия (5.3). В случае их невыполнения сопоставляют эквивалентные и/или максимальные значения виброскорости (эквивалентные значения виброускорения) в октавных полосах частот с $f_{сг}$ = 4—63 Гц с выделяющимися над фоном значениями виброскорости с предельными значениями виброскорости (виброускорения), равными нормативным значениям по СН 2.2.4/2.1.566—96 (таблицы 8—10), соответствующим допустимым эквивалентным и максимальным корректированным значениям виброскорости таблицы 4.1 (предельно допустимым эквивалентным корректированным значениям виброускорения таблицы 4.3), определяют значение превышений в октавных полосах нормируемого диапазона;

в) подбирают виброзащитные мероприятия с учетом прогнозируемых превышений в октавных полосах нормируемого диапазона в соответствии с разделом 7 или 8.

8.1.4 Динамические характеристики грунтов, необходимые для расчета уровней вибрации и подбора параметров виброзащитной конструкции, определяются по 5.1.10.

8.1.5 Виброизоляция здания от колебаний, возбуждаемых движением поездов железной дороги, осуществляется по одной из двух принципиальных схем:

1) по схеме № 1 выполняется горизонтальная «разрезка» здания с отделением надземной (или защищаемой, если она содержит другие функциональные единицы здания) части и установкой здания на виброизоляторы, размещаемые между фундаментом и несущими конструкциями цокольного этажа или конструкциями подземной части. Схема системы виброизоляции приведена на рисунке 8.1.

В качестве виброизоляторов возможно использование металлических пружин, резино-металлических или эластомерных виброизоляторов, пневмоамортизаторов;

2) схема № 2 подразумевает укладку под фундаментную плиту и на внешние боковые поверхности стен подземной части здания рулонных резиновых или эластомерных вибродемпфирующих матов. Возможна точечная (разреженная) укладка указанных типов вибродемпфирующих матов. Схема системы виброизоляции приведена на рисунке 8.2, *а*, *б* для сплошной и точечной укладки соответственно.

В качестве рулонных вибродемпфирующих материалов допускается использование матов, выполненных из резиновых или эластомерных материалов, в том числе вспененной резины (натуральные, бутадиеновые и иные каучуки), резиновой крошки, вспененного полиуретана с замкнутыми порами (применение материалов с комбинированными порами допускается при соответствующем технико-экономическом обосновании).

Примечание — Комбинация технических решений, используемых для снижения передаваемой вибрации (переизлучаемого структурного шума) в указанных типовых виброзащитных конструкциях, не позволяет, как правило, повысить эффективность виброзащиты из-за возможного внутреннего резонанса системы виброизоляции.

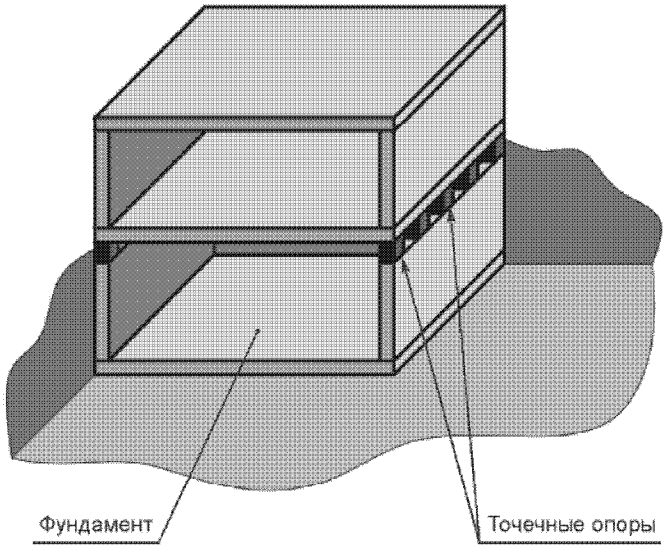
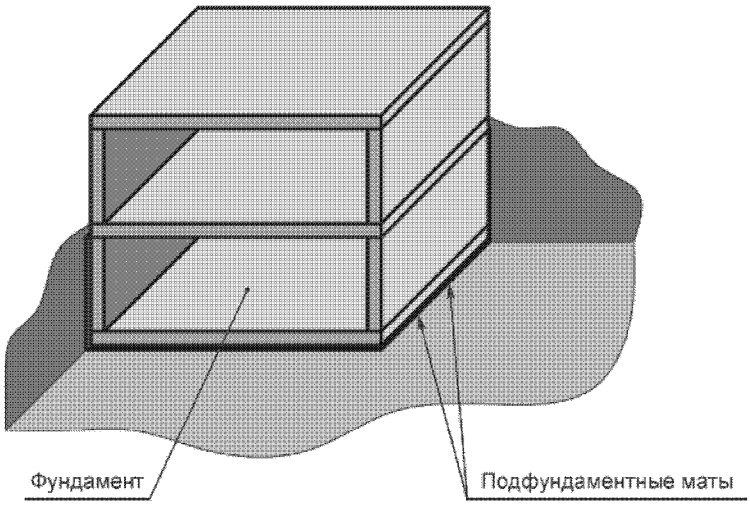
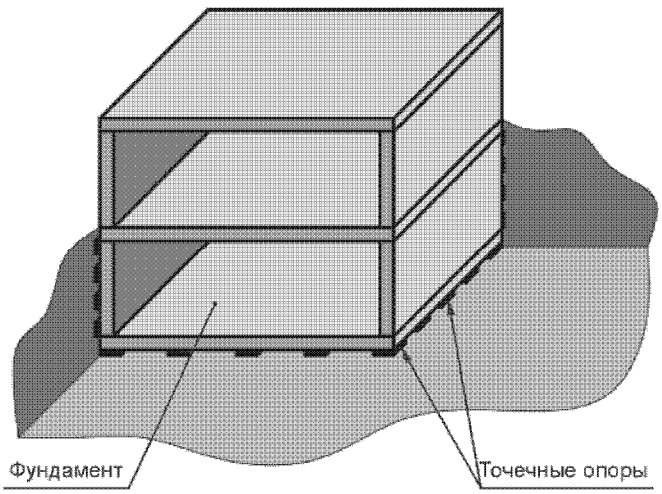


Рисунок 8.1 — Схема виброизоляции № 1

а



б



а — сплошная раскладка вибродемпфирующих матов; *б* — точечная (разреженная) укладка вибродемпфирующих матов

Рисунок 8.2 — Схема виброизоляции № 2

8.1.6 Защита от структурного шума происходит вследствие отсечения (отделения) системой виброизоляции элементов здания (надземной части или всего здания в зависимости от выбранной схемы по 8.1.5) от виброактивных поверхностей (фундамента, конструкций подземной части или грунта под зданием и вокруг здания), при этом эффективность виброизоляции оказывается тем большей, чем выше частота. Поэтому при правильном подборе материалов, рассматриваемые варианты виброизоляции здания позволяют не только эффективно снизить вибрацию, но и возбуждаемые ею уровни структурного шума.

8.2 Требования к материалам и изделиям

8.2.1 Для применения вибродемпфирующих материалов или виброизоляторов в системах виброизоляции зданий должны быть выполнены требования ГОСТ Р ИСО 2017-1 и ГОСТ Р ИСО 2017-3.

8.2.2 Применяемые материалы должны быть допущены к использованию в порядке, установленном действующим законодательством Российской Федерации.

8.2.3 Проектировщику должны быть предоставлены подробные технические данные на каждый тип применяемого элемента системы виброизоляции в соответствии с подразделом 10 ГОСТ Р ИСО 2017-3—2011.

8.2.4 Срок службы системы виброизоляции, при применении схемы, исключающей возможность замены виброизоляторов, должен быть не менее расчетного срока службы здания. Расчетный срок службы здания или сооружения назначается не менее установленного в ГОСТ 27751.

8.2.5 Необходимо предусматривать пожарную защиту элементов системы виброизоляции в случае возможности ее контакта с огнем.

8.2.6 Заявляемые технические характеристики виброизоляторов должны быть подтверждены результатами испытаний по ГОСТ 27242, динамические и диссипативные характеристики — по ГОСТ Р ИСО 10846-1, ГОСТ Р ИСО 18437-1, в том числе с учетом старения и воздействия агрессивных сред. Протоколы испытаний должны содержать данные о статических и динамических характеристиках виброизоляторов в зависимости от температурно-влажностного режима эксплуатации, диапазона нагрузок, числа циклов нагружения, сведения об изменении этих показателей в течение жизненного цикла виброизолятора, устанавливаемого в задании на проектирование.

8.2.7 Не допускается использование в качестве вибродемпфирующих материалов для схем по 8.1.5 резиновых или эластомерных материалов с водопоглощением по объему более 10 % при испытаниях по методике, аналогичной ГОСТ 17177, при полном погружении в воду или ГОСТ Р 56729 при частичном и кратковременном погружениях.

Не допускается использование в качестве вибродемпфирующих материалов для схем по 8.1.5 резиновых или эластомерных материалов с остаточной деформацией сжатия более 10 % при испытаниях по ГОСТ 18268, ГОСТ 11722.

8.3 Расчетное обоснование динамических характеристик системы виброизоляции здания

8.3.1 При проектировании системы виброизоляции должны быть предоставлены следующие данные:

а) значения вертикальных и горизонтальных статических нагрузок на виброизолятор (по схеме № 1 — рисунок 8.1) или давлений по подошве фундаментной плиты (по схеме № 2 — рисунок 8.2, *а*, *б*) от нормативных и расчетных сочетаний усилий;

б) требуемая эффективность системы виброизоляции с учетом старения материала на срок службы системы;

в) результаты инженерно-геологических изысканий с определением физико-механических параметров грунтов по 5.1.10;

г) особые условия применения системы виброизоляции (уровень грунтовых вод и их агрессивность, предполагаемые габаритные размеры системы виброизоляции, возможные места установки виброизоляторов и т. д.).

8.3.2 Основной параметр, который должен быть определен при оценке эффективности системы виброизоляции, — ее собственная частота f_0, Гц, определяемая расчетом по апробированной методике в сертифицированном программном комплексе, или по формуле

$$f_0 = \frac{1}{2\pi}\sqrt{\frac{k}{m}}, \qquad (8.1)$$

где k — динамическая жесткость виброизолятора на рассматриваемой частоте, кН/мм;

m — колеблющаяся масса сооружения, кг.

Для детального анализа эффективности системы виброизоляции, рекомендуется рассматривать динамическую жесткость на доминирующей частоте спектра воздействия, а также на резонансной частоте системы виброизоляции.

8.3.3 Требуемая собственная частота системы виброизоляции f_{req}, Гц, может быть определена исходя из полученного превышения ΔL_f, дБ, в октавной полосе со среднегеометрической частотой f, Гц, по формуле

$$f_{req} = \frac{f}{\sqrt{10^{\frac{\Delta L_f}{20}} + 1}}. \quad (8.2)$$

8.3.4 Требуемая динамическая жесткость виброизоляторов или вибродемпфирующих материалов назначается на основании расчета по формулам (8.1) и (8.2) относительно k.

8.3.5 Процедура подбора динамических параметров системы виброизоляции является итерационной, с учетом существующей номенклатуры виброизоляторов, выпускаемых производителем, а также перераспределением нагрузок на систему виброизоляции за счет изменения жесткости основания сооружения.

После подбора системы виброизоляции следует проверить ее эффективность с учетом спектра входного воздействия по формулам раздела 5.

8.4 Правила проектирования системы виброизоляции здания

8.4.1 Проект системы виброизоляции здания должен включать в себя следующие составные части:

а) общее описание системы виброизоляции;

б) конструктивные мероприятия, связанные с требованием повышенной пространственной жесткости здания;

в) проект технологии монтажа, включая подготовку конструкции, монтаж, контроль качества монтажа и проверку эффективности разработанной системы виброизоляции;

г) определение требуемой динамической жесткости системы виброизоляции в вертикальном и горизонтальных направлениях, исходя из прочности ее элементов и требуемой эффективности системы;

д) расчет элементов системы виброизоляции (виброизоляторов и иных вибродемпфирующих материалов) с учетом старения и длительной эксплуатации на действие нормативных и расчетных сочетаний усилий;

е) расчет собственных частот свободных колебаний и амплитуд, возбуждаемых ветром, вынужденных колебаний здания;

ж) проект организации службы контроля за качеством монтажа и эксплуатации системы виброизоляции.

8.4.2 Основное условие успешной работы системы виброизоляции — полная отрезка защищаемой части здания от фундамента, грунта и примыкающих конструкций, с передачей всех усилий только через виброизоляторы (по схемам № 1 или № 2), боковые упоры, компенсаторы, гибкие вставки и т. п.

8.4.3 По возможности, вводы коммуникаций в здание должны размещаться в невиброизолированной его части. При устройстве ввода коммуникаций через виброизолированную часть необходимо обеспечить их пропуск через гильзы, снабженные упругими элементами или компенсаторами.

8.4.4 Места установки вентиляционного, электрического и иного оборудования в цокольном этаже должны выбираться из условия доступа (при необходимости) к системе виброизоляции, ее монтажа и демонтажа.

8.4.5 Подбор виброизоляторов производится по нормативным сочетаниям нагрузок и воздействий в соответствии с СП 20.13330. Проверка несущей способности системы виброизоляции при старении проводится по расчетным сочетаниям усилий в соответствии с СП 20.13330.

8.4.6 При устройстве системы виброизоляции по схеме № 1 (рисунок 8.1) в несущих стенах, стенах-перегородках и пилонах в соответствии с расчетной нагрузкой, приходящейся на них, устраиваются ниши для размещения в них виброизоляторов. Опорные элементы ниш должны быть рассчитаны на восприятие местных нагрузок в местах установки виброизоляторов.

При расположении виброизоляторов в теле колонны допускается увеличение ее поперечного сечения путем устройства капители. Капитель и тело колонны должны быть рассчитаны на восприятие местных нагрузок в местах установки виброизоляторов. При расположении в капители более одного виброизолятора необходимо учитывать возможное возникновение эксцентриситета нагрузки за счет неравномерного нагружения виброизоляторов или их жесткости.

8.4.7 При устройстве системы виброизоляции по схеме № 2 (рисунок 8.2) рулонные материалы устанавливаются на поверхности спланированного основания грунта котлована, по бетонной стяжке. Необходимо предусматривать защиту вибродемпфирующих материалов в момент монтажа фундаментной плиты.

Устройство системы виброизоляции по вертикальной стене подземной части здания осуществляется за счет приклеивания или прижима материалов к конструкции стены. При этом должна быть обеспечена адгезия материалов к стене в течение срока службы системы.

8.4.8 При предварительном подборе размеров виброизоляторов суммарная эксплуатационная жесткость виброизоляции в вертикальном направлении определяется в предположении, что здание представляет собой систему с одной степенью свободы.

8.4.9 Расчетом определяют:

1) число и размер виброизоляторов (для системы по схеме № 1 — рисунок 8.1), толщину и марку вибродемпфирующих материалов (для системы по схеме № 2);

2) значения напряжений виброизоляторов в процессе монтажа;

3) осадки виброизоляторов под нагрузкой при монтаже и в эксплуатационный период (для системы по схеме № 1 — рисунок 8.1), дополнительную осадку фундамента за эксплуатационный период работы сооружения (для системы по схеме № 2 — рисунок 8.2, *а*, *б*);

4) эффективность системы виброизоляции в нормируемом диапазоне частот.

8.4.10 Проектировщику (конструктору) сооружения на этапе расчета сооружения необходимо дополнительно учитывать изменение жесткости основания и выполнять перерасчет здания с учетом увеличивающейся осадки.

8.4.11 При проектировании системы виброизоляции здания следует учитывать изменение амплитуд горизонтальных колебаний при ветровых воздействиях и выполнять их проверку на соответствие СП 20.13330.

8.4.12 При проектировании системы виброизоляции, а также ее монтаже, вводе в эксплуатацию, работе, ремонте должны соблюдаться требования механической безопасности сооружения.

8.4.13 Экспертиза проектной документации на систему виброизоляции должна проводиться компетентными организациями, обладающими опытом выполнения аналогичных работ и подтвержденными результатами оценки эффективности выполненной системы.

Приложение А

Физико-механические свойства грунтов

Таблица А.1 — Значения упругих, массовых и диссипативных параметров различных грунтов [5]

Наименование грунта	Плотность ρ, кг/м^3	Скорость распространения продольных упругих волн c_l, м/с	Скорость распространения поперечных упругих волн c_t, м/с	Коэффициент потерь η
Насыпной грунт, уплотненный со степенью влажности $G < 0,5$	1600	300	100	0,1
Песок крупный и средней крупности со степенью влажности $G < 0,8$	1700	500	150	0,1
Суглинок тугопластичный и плотно-пластичный	1700	600	250	0,15
Глина твердая и полутвердая	1700	1500	350	0,15
Лесс, лессовидный суглинок при показателе просадочности П = 0,17	1500	400	150	0,15—0,2
Грунт при относительном содержании растительных остатков $q > 0,6$, торф	1000	200	80	0,2
Илы супесчаные, глинистые	1500—1800	1100	300	0,2
Водонасыщенный грунт ниже уровня грунтовых вод при степени влажности $G > 0,9$	2000	1750	250	0,1
Насыпные рыхлые пески, супеси, суглинки и другие неводонасыщенные грунты	1400—1700	100—300	70—150	0,1—0,2
Гравелисто-песчаные	1600—1900	200—500	100—250	0,1
Песчаные маловлажные	1400—1700	150—900	130—500	0,05—0,1
Песчаные средней влажности	1600—1900	250—1300	160—600	0,05—0,1
Песчаные водонасыщенные	1700—2200	300—1600	200—800	0,05—0,1
Супеси	1600—2000	300—1200	120—600	0,1—0,15
Суглинки	1600—2100	300—1400	140—700	0,15—0,2
Глинистые влажные, пластичные	1700—2200	500—2800	130—200	0,2
Глинистые плотные, полутвердые	1900—2600	2000—3500	1100—2000	0,15
Лесс и лессовидные грунты	1300—1600	380—400	130—140	0,15
Полускальные и скальные породы				
Мергель	1800—2600	1400—3500	800—2000	0,05—0,1
Песчаник рыхлый	1800—2200	1500—2500	800—1700	0,1
Песчаник плотный	2000—2600	2000—4300	1100—2500	0,05—0,1
Песчаник сильновыветренный	1700—2200	1000—3000	600—1800	0,1
Известняк прочный	2000—3000	3000—6500	1500—3700	0,05
Глинистые сланцы	2000—2800	2000—5000	1200—3000	0,05—0,1
Изверженные и метаморфические породы (гранит, гнейс, базальт, диабаз и пр.) трещиноватые	2400—3000	3000—5000	1700—3000	0,05—0,1
Изверженные и метаморфические породы (гранит, гнейс, базальт, диабаз и пр.) нетрещиноватые	2700—3300	4000—6500	2700—4300	0,03—0,05

Приложение Б

Измерение вибрации от железнодорожных линий

Б.1 Общие положения

Б.1.1 Измеряемые параметры вибрации в соответствии с настоящим сводом правил:

- эквивалентное $v_{w,экв}$, максимальное $v_{w,макс}$ корректированные среднеквадратичные значения виброскорости, м/с;

- эквивалентные $v_{экв,i}$, максимальное $v_{макс,i}$ среднеквадратичные значения виброскорости, м/с, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 4—250 Гц.

Функции частотной коррекции для вертикального и горизонтального направлений принимают по таблице 4.4.

Б.1.2 Контролю вибрации от движения поездов должно предшествовать определение фоновой вибрации. Если сигнал, регистрируемый при прохождении поезда, не выделяется над уровнем фона, оценку вибрации от движения поездов в соответствии с настоящим сводом правил выполнять не следует.

Б.1.3 Измерительная цепь должна быть откалибрована. Динамический диапазон датчиков измерений и анализаторов должен быть достаточен для измерения как фоновых значений, так и максимальных значений, возникающих при прохождении поездов всех категорий (таблица 4.1).

Б.1.4 Необходимо учитывать расширенную неопределенность измерений по ГОСТ 34100.1, ГОСТ 34100.3.

Б.1.5 Для измерений вибрации при движении поездов категории 2 (таблица 4.1) рекомендуется пользоваться велосиметрами. Для измерения вибрации при движении поездов категории 1 и 4 (таблица 4.1) — акселерометрами (с последующим интегрированием для получения сигнала скорости). Измерение вибрации остальных категорий поездов допускается проводить с применением любого из указанных вибропреобразователей.

Б.1.6 Оборудование для проведения измерений должно соответствовать ГОСТ Р 53963.1, ГОСТ ИСО 8041, применяемые для обработки фильтры — ГОСТ 17168. Применяемое оборудование должно быть внесено в реестр средств измерений и иметь действующие свидетельства о поверке.

Б.1.7 Для измерения корректированного значения виброскорости следует применять средства измерений, обеспечивающие частотную коррекцию в вертикальном и горизонтальном направлениях для общей вибрации в соответствии с 4.2.4.

Б.2 Расположение датчиков относительно железнодорожного пути

Б.2.1 В зависимости от длины сооружения выбирают створы измерений вдоль железнодорожного пути.

При длине сооружения (длине фасадной части, выходящей на путь, или проекции габаритов здания на ось пути) до 50 м включительно выбираются два створа для измерений — в начале и в конце здания — рисунок Б.1, *а*.

При длине сооружения свыше 50 м — выбирается целое число створов измерений, по одному в начале и в конце здания и далее через каждые (25 ± 5) м между крайними створами — рисунок Б.1, *б*.

Если напротив сооружения расположен стык рельса в железнодорожном пути, стрелочный перевод, переезд или иной характерный участок пути, то один из створов следует сместить в место расположения этого характерного участка.

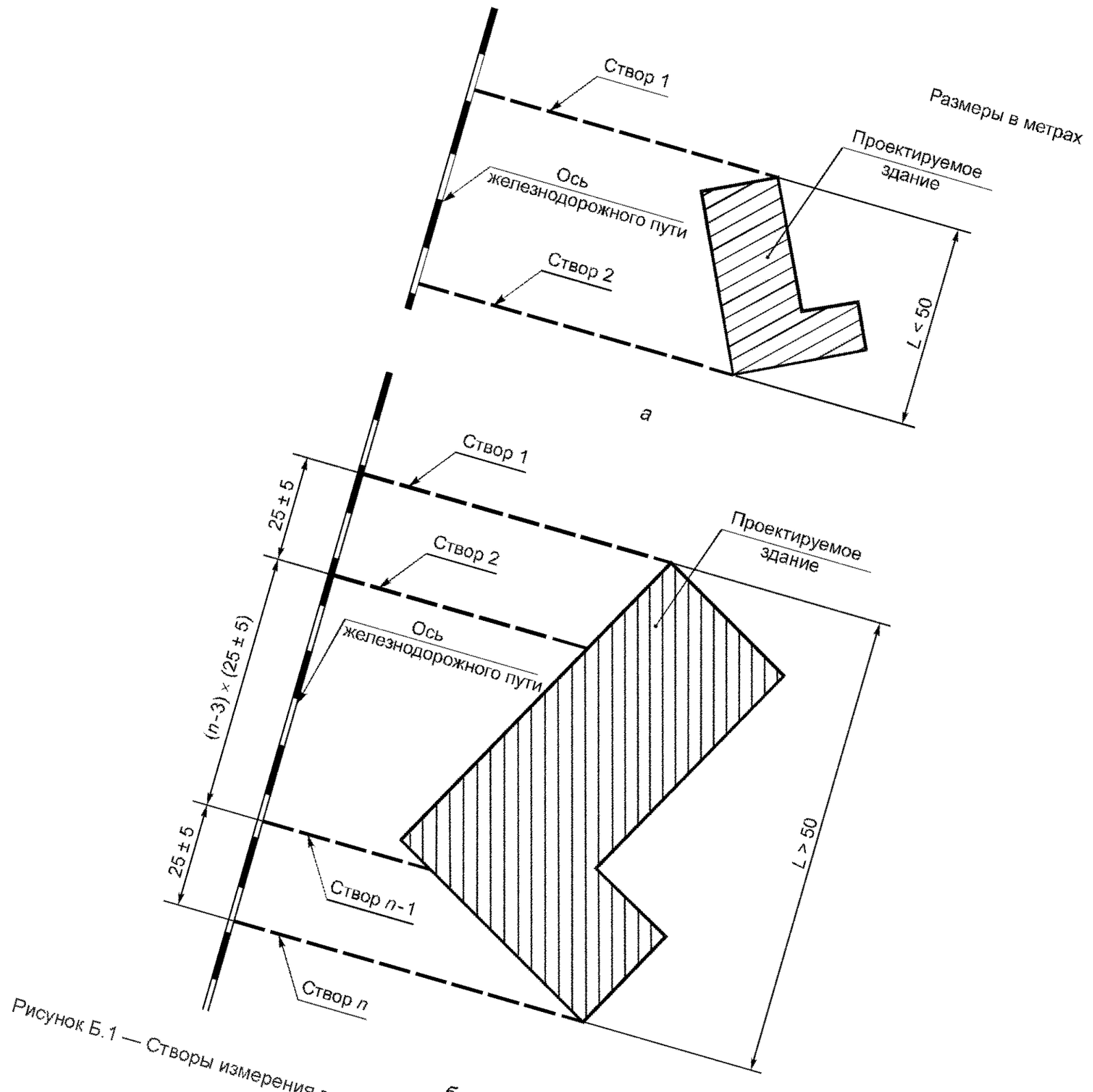
Б.2.2 В каждом измерительном створе измерения проводят синхронно минимум в трех точках: в одной точке — на расстоянии 8 м, 16 м, 32 м, 64 м и 128 м от оси ближайшего к проектируемому зданию железнодорожного пути и двух точках — на абрисе фундамента проектируемого здания.

При этом между исследуемым зданием и линией железной дороги должно быть не менее двух точек измерений (первая точка — на расстоянии 8 м от оси железнодорожного пути, вторая точка — в месте установки проектируемого здания). Расстояние между самой дальней точкой измерений и линией железной дороги должно быть не более расстояния от оси железной дороги до самой удаленной точки исследуемого сооружения.

Рекомендуется проводить измерения в характерных местах сооружения (углы, выступающие элементы и т. д). Рекомендуемые точки измерений приведены на рисунке Б.2.

Примечание — Измерения в створе желательно проводить на достаточном удалении от массивных тел, которые могут исказить результаты измерений. В соответствии с ГОСТ Р 53964 рекомендуется, чтобы расстояние от точки измерений до массивного тела более чем в полтора раза превышало его максимальный габаритный размер. Если массивное тело или слой грунта со значительно отличающимися динамическими свойствами находятся на пути распространения вибрации к точке измерений, то возможные эффекты дифракции и отражения колебательных волн в грунте могут привести к понижению вибрации в этой точке. И, наоборот, в точку измерений может прийти колебательная волна, отразившаяся от находящихся в стороне фундаментов зданий или канализационных колодцев, что приведет к повышению вибрации в этой точке.

Б.2.3 Рекомендации по проведению измерений в выемках, на насыпях и плоском участке представлены на рисунке Б.3. Рекомендуется проводить измерения в первой точке на расстоянии 8 м от оси железнодорожного пути. В случае отсутствия такой возможности допускается смещать первую точку измерений на расстояние 16, 32 или 64 м с обязательным измерением в дополнительной точке, расположенной на равном расстоянии между первой точкой измерений и точкой измерений вблизи здания (но не ближе 5 м).



Размеры в метрах

Рисунок Б.1 — Створы измерения вибрации при длине здания до 50 м (а) и свыше 50 м (б)

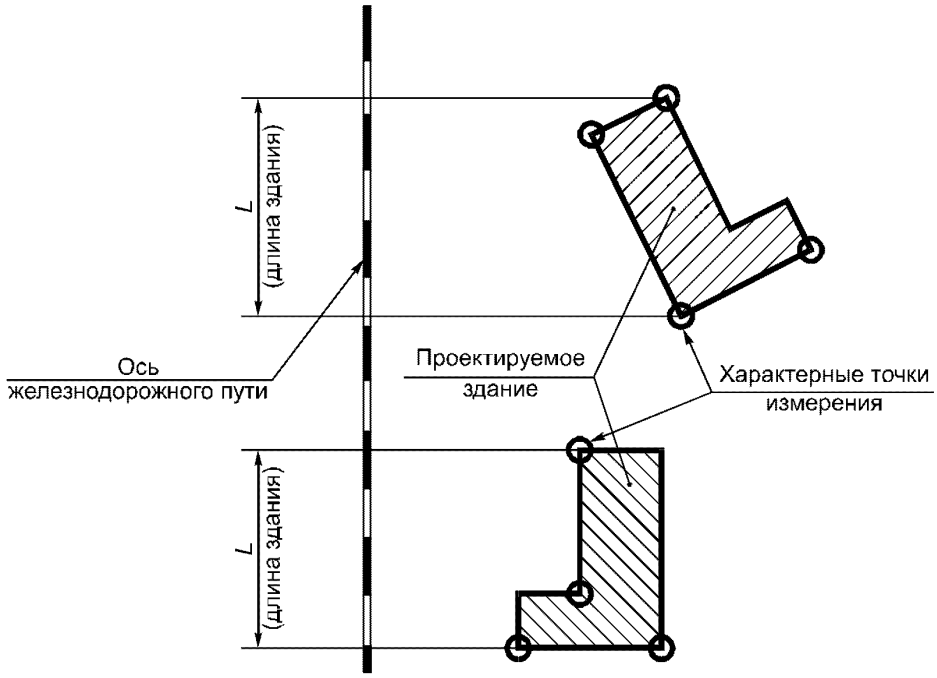


Рисунок Б.2 — Рекомендуемые точки измерений в месте расположения здания

а

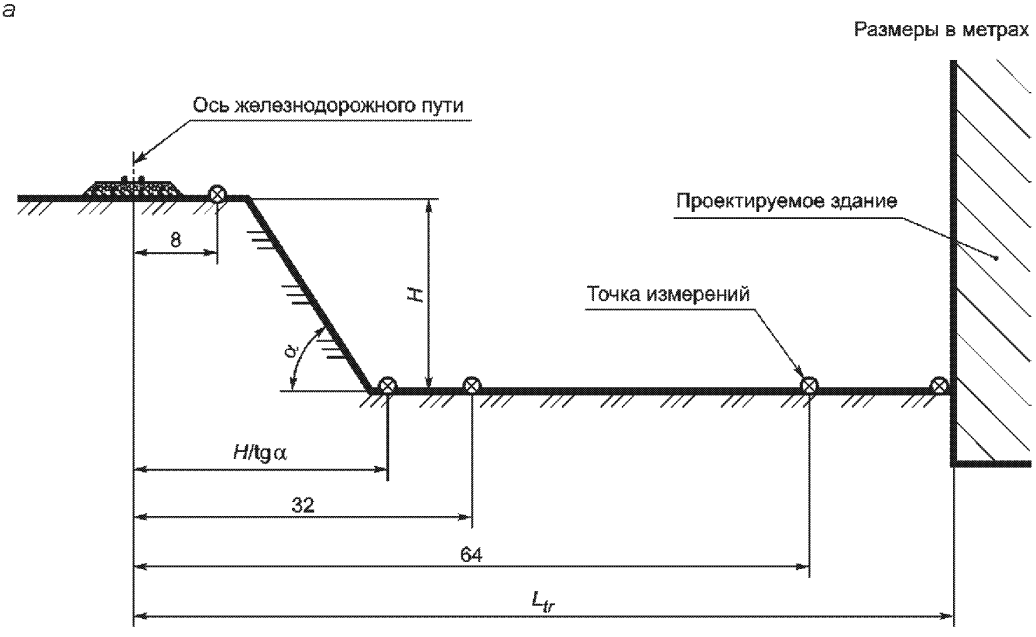
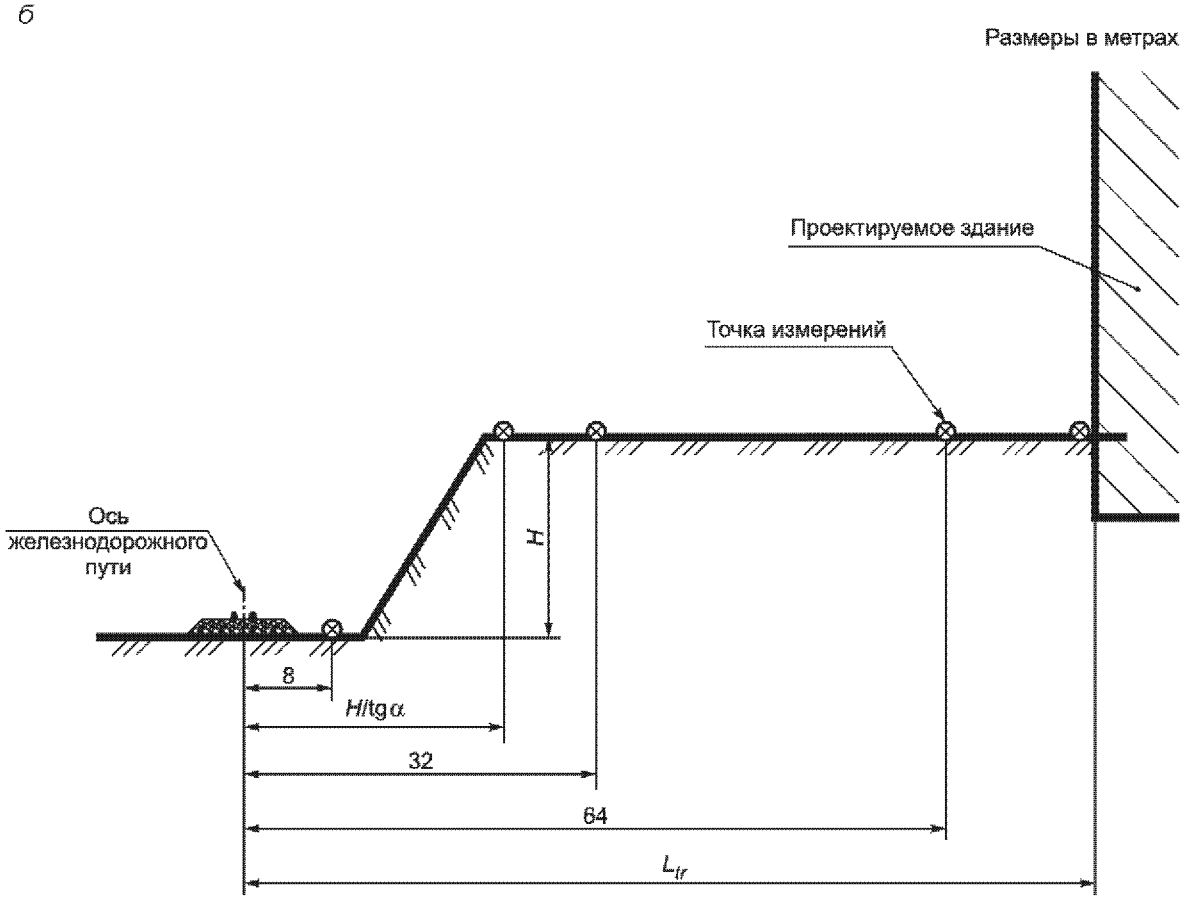
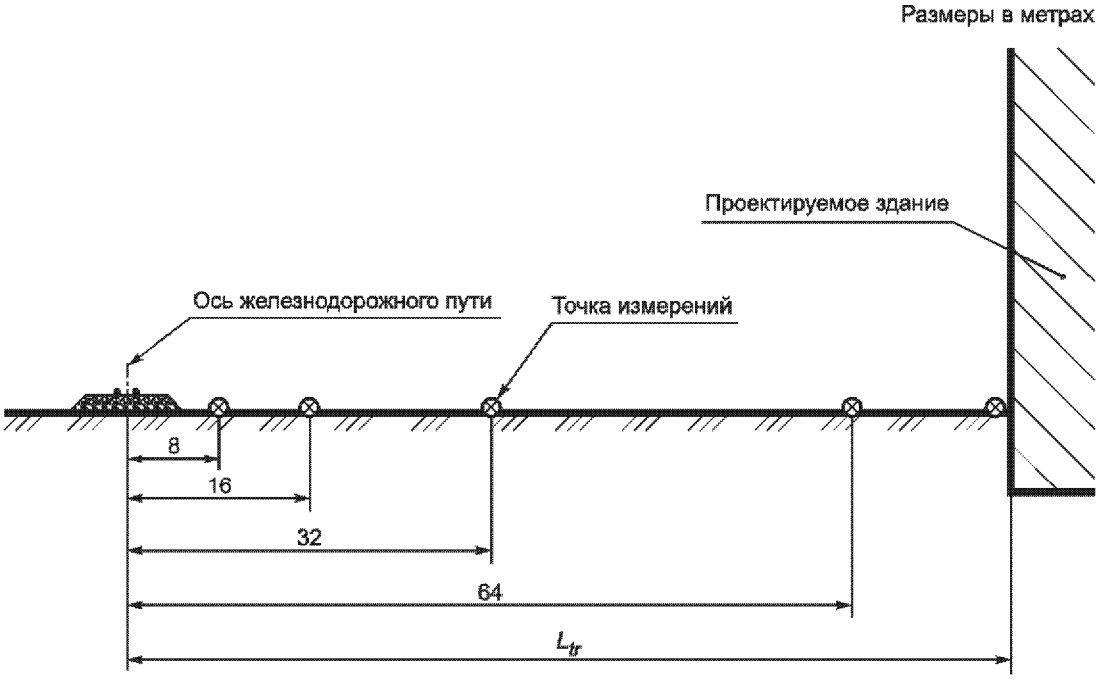


Рисунок Б.3 — Точки для измерения вибрации в створе (лист 1)

б



в



а — путь на насыпи; *б* — путь в выемке; *в* — путь на плоском участке

Рисунок Б.3 — Лист 2

Б.2.4 Вибропреобразователь должен быть прикреплен с помощью резьбового соединения к поверхности промежуточной платформы или стального диска по ГОСТ 31319, ГОСТ Р 53964. Для ориентации однокомпонентных преобразователей в разных направлениях допускается применять кубик из легкого сплава по ГОСТ Р 53964.

Б.2.5 При установке датчиков на грунт следует пользоваться положениями ГОСТ Р 52892 и ГОСТ Р 53964. При этом площадка установки должна быть расчищена от строительного мусора, грязи и прочих посторонних предметов. Датчики следует устанавливать непосредственно на поверхность грунта с применением схем крепления по ГОСТ Р 53964.

Установка датчиков на поверхность грунта, покрытую асфальтобетонным покрытием, бетонными плитами, не допускается.

Б.2.6 Измерения следует проводить синхронно в трех взаимно перпендикулярных направлениях: вертикальном (ось *Z*) и двух горизонтальных (ось *X* — перпендикулярно, ось *Y* — параллельно линии железной дороги). Отклонение оси чувствительности датчика от заданного направления измерений не должно быть более 5°.

Б.2.7 Установочный резонанс датчика должен находиться на частоте выше 1000 Гц, чтобы не оказывать влияния на результаты измерений.

Допускается проводить измерения датчиком с установочным резонансом ниже 2 Гц, при проверке несовпадения резонансной частоты датчика и частоты внешнего воздействия.

Б.2.8 При измерении вибрации от тоннеля [6] следует руководствоваться положениями ГОСТ 31185.

Б.2.9 Для уменьшения кабельного эффекта присоединяемый к вибропреобразователю кабель должен быть эластично прикреплен к неподвижным точкам через промежутки не более 1,5 м.

Б.2.10 При проведении измерений на приборе должна быть установлена временная характеристика «медленно» (τ = 1 с).

Б.3 Методика проведения измерений

Б.3.1 Перед началом измерений необходимо получить проектную информацию по конструкции ВСП на рассматриваемом участке, а также типам подвижного состава, предусмотренным для оборота на этом участке линии.

Б.3.2 При проведении измерений необходимо фиксировать следующие параметры подвижного состава:

- тип состава с ориентировочным значением нагрузки на ось, числом и типом вагонов;
- ходовые качества подвижного состава;
- скорость подвижного состава (измеряемую по секундомеру с учетом длины подвижного состава);
- значение необрессоренных масс подвижного состава (тип тележки).

Б.3.3 При подготовке протокола измерений необходимо также отметить следующие параметры ВСП:

- шероховатость поверхности катания рельса (посредством визуального контроля или, при наличии технической возможности, инструментально);
- тип рельсового пути со следующими данными: профиль рельса (по ГОСТ Р 51685), геометрия пути, например подуклонка, радиус кривой, уклон пути, ширина колеи, колея, маркировка стрелочного перевода, тип железнодорожного переезда и т. д.;
- конструкция ВСП (балласт/безбалласт, эстакада, мост, тоннель и т.п.), поперечник ВСП, характеристика используемых в конструкции ВСП материалов;
- при наличии систем виброизоляции ВСП — тип, производитель, поперечник и динамические характеристики виброзащитных элементов ВСП.

Б.3.4 При измерении эквивалентных значений виброскорости должно пройти не менее 5*n* поездов, в числе которых не менее пяти поездов каждой категории. Множитель *n* соответствует числу категорий поездов, проходящих по рассматриваемому участку железнодорожной линии. Если необходимо, измерения могут быть продолжены на следующий день.

При измерении максимальных значений виброскорости должно пройти не менее 20 поездов каждой категории поездов, проходящих по рассматриваемому участку железнодорожной линии. Если невозможно получить необходимое число записей, то в протоколе испытаний указывают число прошедших поездов, вибрация которых измерена, и приводят оценку влияния числа поездов на неопределенность измерений.

Б.3.5 Эквивалентные и максимальные значения корректированных и спектральных параметров вибрации регистрируют в направления трех осей *X, Y, Z* при прохождении каждого поезда. Продолжительность измерения равна интервалу, при котором суммарный сигнал (от поезда плюс фоновая вибрация) более чем в два раза превышает значение фоновой вибрации.

Если применяемое средство измерений не позволяет регистрировать корректированные параметры вибрации, измеряют спектральные значения и значения корректированных параметров рассчитывают по формулам 4.2.4.

Б.3.6 До и после проведения измерений следует выполнять калибровку средств измерений в соответствии с инструкциями по их эксплуатации. Если результаты калибровки различаются более чем в 1,4 раза (3 дБ), измерения вибрации следует повторить.

Б.4 Обработка результатов измерений

Б.4.1 Если суммарное измеренное значение виброскорости $v_{сум}$ (соответствующее совместному действию сигнала от прохождения поезда и фонового сигнала) превышает значение виброскорости от фоновой вибрации $v_ф$ в 3,5 раза ($v_{сум} > 3{,}5v_ф$), влияние фоновой вибрации можно не учитывать. При выполнении неравенства $2v_ф < v_{сум} \le 3{,}5\ v_ф$ влияние фоновой вибрации учитывают по формуле

$$v = \sqrt{v_{сум}^2 - v_ф^2}. \qquad (Б.1)$$

Б.4.2 По результатам измерений эквивалентных значений виброскорости рассчитывают часовое эквивалентное корректированное $v_{w,экв,1h,l,j}$ и спектральные $v_{экв,1h,l,j,f}$ (f — номер соответствующей спектральной полосы) значения виброскорости потока поездов i-й категории, прошедших по рассматриваемому участку пути в течение l-го часа, по формуле

$$v_{экв,1h,l,j} = \sqrt{\frac{1}{3600}\sum_{j=1}^{n_{l,j}} t_{l,i,j} v^2_{экв,l,i,j}}, \quad (Б.2)$$

где $v_{экв,l,i,j}$ — эквивалентное корректированное $v_{w,экв,l,i,j}$ или спектральное $v_{экв,l,i,j,f}$ значения виброскорости (с учетом влияния фоновой вибрации), измеренное при прохождении j-го поезда i-й категории по рассматриваемому участку пути в течение l-го часа, м/с;

$n_{l,j}$ — число поездов i-й категории, проходящих по рассматриваемому участку пути в течение l-го часа;

$t_{l,l,j}$ — время измерения виброскорости j-го поезда i-й категории, прошедшего по рассматриваемому участку пути в течение l-го часа, с.

Часовое эквивалентное корректированное и спектральные значения виброскорости потока поездов всех категорий, прошедших по рассматриваемому участку пути в течение l-го часа, вляют по формуле

$$v_{экв,1h,l} = \sqrt{\sum_{i=1}^{n_l} v^2_{экв,1h,l,i}}, \quad (Б.3)$$

где n_l — число категорий поездов, прошедших по рассматриваемому участку пути в течение l-го часа.

Эквивалентный уровень звука за время оценки (16 ч днем и 8 ч ночью) вычисляют по формуле

$$v_{экв,k} = \sqrt{\frac{1}{T_k}\sum_{l=1}^{n_k} t_l v^2_{экв,1h,l}}, \quad (Б.4)$$

где T_k — время оценки, ч, принимаемое в соответствии с санитарными требованиями равным 16 ч (n_k = 16) для дня и 8 ч (n_k = 8) — для ночи и рабочего места;

t_l = 1 ч.

Б.4.3 По результатам измерений максимальных значений виброскорости рассчитывают среднее максимальное корректированное $\overline{v}_{w,макс,i}$ и спектральные значения $\overline{v}_{макс,i,f}$ (f — номер соответствующей спектральной полосы) виброскорости потока поездов i-й категории, прошедших по рассматриваемому участку пути за время измерений, по формуле

$$\overline{v}_{макс,i} = \frac{\sum_{j=1}^{n_i} v_{макс,i,j}}{n_i}, \quad (Б.5)$$

где $v_{макс,i,j}$ — корректированное $v_{w,макс,i,j}$ или спектральное $v_{макс,i,j,f}$ максимальное значение виброскорости (с учетом влияния фоновой вибрации), измеренное при прохождении j-го поезда i-й категории по рассматриваемому участку пути за время измерений, м/с;

n_i — число поездов i-й категории, прошедших по рассматриваемому участку пути за время измерений.

За максимальное значение виброскорости за время оценки принимают наибольшее из значений $\overline{v}_{макс,i}$

$$v_{макс,k} = \max_i \left\{\overline{v}_{макс,i}\right\}. \quad (Б.6)$$

Б.5 Представление результатов измерений

Б.5.1 Результаты измерений оформляют протоколом, который должен содержать следующие сведения:

- организация, проводившая измерения;
- участок железной дороги, поезда, проходящие по которой — источники оцениваемой вибрации;
- схема и описание места проведения измерений;
- дата и время проведения измерений;
- средства измерений (прибор, тип, заводской номер, сведения о госповерке);
- результаты измерений корректированных и спектральных $v_{экв,l,i,j,f}$ виброскоростей для фоновой и суммарной вибрации при прохождении поездов измеренных категорий по рассматриваемому участку пути (осциллограмма, если снималась, число n_j категорий поездов, прошедших в течение каждого l-го часа, число $n_{l,i}$ поездов i-й категории, прошедших в течение каждого l-го часа, с указанием времени $t_{l,i,j}$ их прохождения, таблица эквивалентных $v_{w,экв,ф}$ и максимальных $v_{w,макс,ф}$ корректированных и спектральных $v_{экв,ф,f}$, $v_{макс,ф,f}$ виброскоростей для фоновой вибрации, эквивалентных $v_{w,экв,l,i,j}$ и максимальных $v_{w,макс,l,i,j}$ корректированных и спектральных $v_{экв,l,i,j,f}$, $v_{макс,l,i,j,f}$ виброскоростей при прохождении j-го поезда i-й категории по рассматриваемому участку пути в течение l-го часа);
- время оценки (день, ночь);
- результаты обработки эквивалентных ($v_{экв,1h,l,j}$, $v_{экв,1h,l}$ и $v_{экв,k}$) и максимальных ($v_{макс,i,j}$, $\overline{v}_{макс,i}$, $v_{макс,k}$) корректированных и спектральных значений виброскорости;
- подписи лиц, проводивших измерения и оценку вибрационного воздействия.

Приложение В

Значения виброскорости для опорного расстояния 16 м

Таблица В.1 — Значения виброскорости v_0, для опорного расстояния r_0 = 16 м

Категория поезда	f_{cr} Гц	Виброскорость $v_0 \cdot 10^{-4}$, м/с, в направлении оси					
		X		Y		Z	
		экв	макс	экв	макс	экв	макс
1	16	1,14	1,18	0,41	3,18	0,52	3,76
	31,5	0,71	2,36	0,32	0,61	0,30	0,54
	63	0,30	0,84	0,28	0,55	0,08	0,17
2	4	4,64	18,31	4,51	9,32	5,17	8,74
	8	2,40	5,97	2,52	5,77	2,26	5,22
	16	1,58	16,59	1,99	18,85	1,63	18,54
	31,5	1,03	3,59	1,12	3,97	1,20	4,65
	63	0,43	1,57	0,42	1,31	0,57	1,97
3	4	2,21	6,17	2,31	4,79	1,80	4,57
	8	1,33	2,78	1,57	3,33	1,33	2,88
	16	0,76	6,84	0,96	8,80	0,77	7,11
	31,5	0,62	1,87	0,67	2,60	0,80	2,58
	63	0,24	0,74	0,34	0,84	0,21	0,53
4	4	0,37	0,99	0,78	1,60	0,65	1,22
	8	0,99	1,22	1,00	1,21	0,34	0,60
	16	0,36	1,02	0,30	0,86	0,36	1,24
	31,5	0,22	0,51	0,20	0,51	0,28	0,78
	63	0,06	0,14	0,05	0,40	0,07	0,45

Примечания — Значения виброскорости, приведенные в таблице, получены для участка пути с обращением подвижных составов категорий 1—4 по таблице 4.1. Они определены по малой выборке результатов измерений для пяти (для электропоездов — трех) поездов и соответствуют верхней границе результатов измерений для одностороннего интервала охвата с уровнем доверия 95 %.

Приложение Г

Влияние вибрации на осадки здания

Таблица Г.1 — Влияние вибраций на осадки зданий

Ускорение колебаний поверхности грунта около фундаментов, см/с^2	Характеристика динамических осадок фундамента	
	в водонасыщенных заиленных песках, текучепластичных глинах и других слабых грунтах	в песках (кроме указанных) и пластичных глинистых грунтах
До 5	Незначительные затухающие осадки	Осадок нет
От 5 до 15	Затухающие осадки (2—3 мм/год)	Весьма незначительные незатухающие или слабо затухающие осадки (1—2 мм/год)
От 15 до 30	Незатухающие осадки (3—5 мм/год)	Незатухающие осадки (2—3 мм/год)
От 30 до 50	Значительные незатухающие осадки (более 5 мм/год)	Незатухающие осадки (3—5 мм/год)

Библиография

[1] Приказ Минтранса России от 21 декабря 2010 года № 286 «Об утверждении Правил технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации»
[2] Руководство по комплексной оценке состояния участка пути (километра) на основе данных средств диагностики и генеральных осмотров пути. Утверждено распоряжением ОАО «РЖД» от 14 декабря 2009 г. № 2536р
[3] Распоряжение ОАО «РЖД» от 18 декабря 2012 г. № 2607р «Об утверждении и введении в действие «Инструкции по применению конструкции верхнего строения пути в тоннелях»
[4] Распоряжение ОАО «РЖД» от 22 декабря 2017 г. № 2706р «Об утверждении Методики оценки воздействия подвижного состава на путь по условиям обеспечения надежности»
[5] ВСН 211-91 Прогнозирование уровней вибрации грунта от движения поездов метрополитена и расчет виброзащитных строительных устройств
[6] СП 23-105—2004 Оценка вибрации при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов метрополитена

.

УДК 728.1.012.1:006.354 ОКС 91.120.125

Ключевые слова: железнодорожная линия, поезд, верхнее строение пути, вибрация, структурный шум, грунт, здание, прогноз, защита, источник вибрации, измерение вибрации, снижение вибрации, проектирование, строительство, эксплуатация, динамическая характеристика, виброизоляция, вибродемпфирующий материал, виброизолятор, ограждающая конструкция, акустический экран

Технический редактор *В.Н. Прусакова*
Корректор *М.И. Першина*
Компьютерная верстка *Е.О. Асташина*

Сдано в набор 26.04.2019. Подписано в печать 06.06.2019. Формат 60×84 1/8. Гарнитура Ариал.
Усл. печ. л. 4,65. Уч.-изд. л. 4,21.
Подготовлено на основе электронной версии, предоставленной разработчиком свода правил

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