ФЕДЕРАЛЬНОЕ АГЕНТСТВО
ПО ТЕХНИЧЕСКОМУ РЕГУЛИРОВАНИЮ И МЕТРОЛОГИИ

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

ГОСТ Р ИСО 14837-1— 2007

Вибрация

ШУМ И ВИБРАЦИЯ, СОЗДАВАЕМЫЕ ДВИЖЕНИЕМ РЕЛЬСОВОГО ТРАНСПОРТА

Часть 1

Общее руководство

ISO 14837-1:2005
Mechanical vibration — Ground-borne noise and vibration arising from rail systems — Part 1: General guidance

(IDT)

Издание официальное

БЗ 10—2007/340

gost.e-ecolog.ru

Предисловие

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

Сведения о стандарте

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

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

3 УТВЕРЖДЕН И ВВЕДЕН В ДЕЙСТВИЕ Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 27 декабря 2007 г. № 586-ст

4 Настоящий стандарт идентичен международному стандарту ИСО 14837-1:2005 «Вибрация. Шум и вибрация, создаваемые движением рельсового транспорта. Часть 1. Общее руководство» (ISO 14837-1:2005 «Mechanical vibration — Ground-borne noise and vibration arising from rail systems — Part 1: General guidance»).

При применении настоящего стандарта рекомендуется использовать вместо ссылочного международного стандарта соответствующий ему национальный стандарт Российской Федерации, сведения о которых приведены в дополнительном приложении D

4 ВВЕДЕН ВПЕРВЫЕ

Информация об изменениях к настоящему стандарту публикуется в ежегодно издаваемом указателе «Национальные стандарты», а текст изменений и поправок — в ежемесячно издаваемых информационных указателях «Национальные стандарты». В случае пересмотра (замены) или отмены настоящего стандарта соответствующее уведомление будет опубликовано в ежемесячно издаваемом информационном указателе «Национальные стандарты». Соответствующая информация, уведомление и тексты размещаются также в информационной системе общего пользования — на официальном сайте Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии в сети Интернет

© Стандартинформ, 2008

Настоящий стандарт не может быть полностью или частично воспроизведен, тиражирован и распространен в качестве официального издания без разрешения Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии

Содержание

1 Область применения 1
2 Нормативные ссылки 1
3 Термины и определения 1
4 Общие сведения о передаваемой вибрации и переизлученном шуме 2
5 Формы воздействия передаваемой вибрации и переизлученного шума 7
6 Показатели 9
7 Измерения передаваемой вибрации и переизлученного шума 10
8 Принцип построения моделей 12
9 Прогностические модели 16
10 Разработка, калибровка, тестирование и проверка модели 20
Приложение A (рекомендуемое) Характеристики, принимаемые во внимание при проектировании и измерениях 21
Приложение B (справочное) Ослабление передаваемой вибрации и переизлученного шума 25
Приложение C (справочное) Методы и средства разработки, калибровки, тестирования и проверки модели 30
Приложение D (справочное) Сведения о соответствии национального стандарта Российской Федерации ссылочному международному стандарту 33
Библиография 34

НАЦИОНАЛЬНЫЙ СТАНДАРТ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ

Вибрация

ШУМ И ВИБРАЦИЯ, СОЗДАВАЕМЫЕ ДВИЖЕНИЕМ РЕЛЬСОВОГО ТРАНСПОРТА

Часть 1

Общее руководство

Vibration. Ground-borne noise and vibration arising from rail systems.
Part 1. General guidance

Дата введения — 2008—10—01

1 Область применения

Настоящий стандарт устанавливает общее руководство по оценке вибрации грунта (сейсмических волн), создаваемой при движении рельсовых транспортных средств, и ее воздействия на сооружения.

Приведен перечень факторов, которые необходимо принимать во внимание при анализе вибрации грунта, и дано общее руководство по построению прогностических моделей для широкого диапазона практических ситуаций (например, в целях оценки риска повреждения конструкции здания, определения воздействия вибрации на обитателей здания и размещенное в нем оборудование).

В настоящем стандарте рассмотрены характеристики:

- источника вибрации (транспортное средство, колеса, рельсы, рельсовый путь, опорная конструкция);
- пути распространения вибрации (состояние грунта, расстояние до объекта воздействия);
- объекта воздействия (фундамент, вид сооружения).

Установленное руководство распространяется на рельсовые транспортные средства всех типов и все способы укладки рельсового пути (по земле, на эстакаде, в туннеле).

Настоящий стандарт не распространяется на вибрацию, возникающую в процессе строительства рельсовых коммуникаций и их технического обслуживания.

Настоящий стандарт не распространяется на шум, излучаемый в окружающую среду искусственным сооружением (эстакадой) при прохождении по нему рельсового транспортного средства.

2 Нормативные ссылки

В настоящем стандарте использованы нормативные ссылки на следующий стандарт:

ИСО 2041:1990 Вибрация и удар. Термины и определения

3 Термины и определения

В настоящем стандарте применены термины по ИСО 2041, а также следующие термины с соответствующими определениями.

3.1 **передаваемая (через грунт) вибрация:** Вибрация, создаваемая при прохождении рельсового транспортного средства, распространяющаяся в виде сейсмических волн по земной поверхности или через искусственные конструкции и воздействующая на сооружения.

3.2 **переизлученный шум:** Шум, порождаемый внутри зданий вибрацией, передаваемой через грунт вследствие движения рельсового транспортного средства.

Примечание — Переизлученный шум не включает в себя акустический шум, непосредственно излучаемый источником в воздушную среду.

Издание официальное

2—1229

3.3 **параметр модели:** Коэффициент или функция, характеризующий(ая) поведение физического объекта в рамках данной математической модели.

3.4 **элемент модели:** Важная составляющая физической системы, описываемой моделью.

3.5 **разработка модели:** Создание математического описания физического объекта.

Примечание — Разработка модели представляет собой итерационную процедуру, в ходе которой параметры, компоненты и общий вид модели уточняют, чтобы прогнозные и полученные в результате измерений значения параметров наилучшим образом соответствовали друг другу.

3.6 **калибровка модели:** Подгонка модели, осуществляемая с целью обеспечить наилучшее согласие выходных данных модели с результатами измерений.

3.7 **тестирование модели:** Сравнение выходных данных модели с результатами измерений, не использованными при разработке и калибровке модели.

3.8 **проверка модели:** Подтверждение соответствия результатов, полученных с помощью математической модели объекта, поставленной задаче моделирования.

3.9 **показатель:** Параметр, через который задают критерии оценки и значения которого получают в результате измерений или прогноза.

3.10 **вносимое усиление:** Отношение между значениями показателя после и до внесения изменений в систему.

Примечания

1 Уменьшение показателя соответствует отрицательному вносимому усилению при его выражении в децибелах.

2 «Вносимое усиление» является рекомендуемым термином, однако наряду с ним также используют термин «вносимые потери». Уменьшение показателя соответствует положительным вносимым потерям при их выражении в децибелах.

3.11 **неподрессоренная масса:** Общая масса колес, осей, тормозных дисков, двигателя с осевой подвеской, редукторов и других элементов рельсового транспортного средства, расположенных ниже системы его подвески.

4 Общие сведения о передаваемой вибрации и переизлученном шуме

4.1 Предмет исследования

Вибрация, передаваемая через грунт, и переизлученный шум могут вызывать неприятные ощущения у людей, находящихся в зданиях. Указанные факторы могут также негативно влиять на установленное в зданиях оборудование (на правильность его функционирования), если это оборудование чувствительно к динамическим воздействиям. Если же вибрация, передаваемая через грунт, достаточно высока, это может составить угрозу и для целостности конструкции зданий и других сооружений.

Настоящим стандартом установлено руководство по построению прогностических моделей, позволяющих оценить воздействие вибрации на людей (но не животных) и на оборудование, находящихся внутри зданий, а также непосредственно на конструкцию этих зданий.

Люди ощущают вибрацию по-разному в зависимости от ее частотного состава: через вибрацию всего тела и его частей в диапазоне от 1 до 80 Гц и как звук, излученный вибрирующими элементами здания (стенами, полом, потолком) в диапазоне от 16 до 250 Гц.

Примечания

1 Человек, помимо ощущения колебаний своего тела, может воспринимать вибрацию также тактильно в более широком диапазоне частот.

2 В некоторых специальных случаях при анализе воздействия шума следует принимать во внимание частоты ниже 16 и выше 250 Гц.

3 Вторичный эффект воздействия вибрации представляет собой шум, излучаемый дребезжащими предметами (посудой, оконными стеклами, потолками, светильниками, мебелью и пр.). Этот шум может создавать значительные неудобства, но его трудно описать количественно, поэтому в настоящем руководстве не рассматривается механизм его возникновения.

Вибрация в зданиях может влиять на состояние находящегося в них чувствительного измерительного инструмента и на выполняемые технологические процессы. Диапазон частот, принимаемый во внимание при анализе этого влияния, зависит от конкретной ситуации и может составлять до 200 Гц.

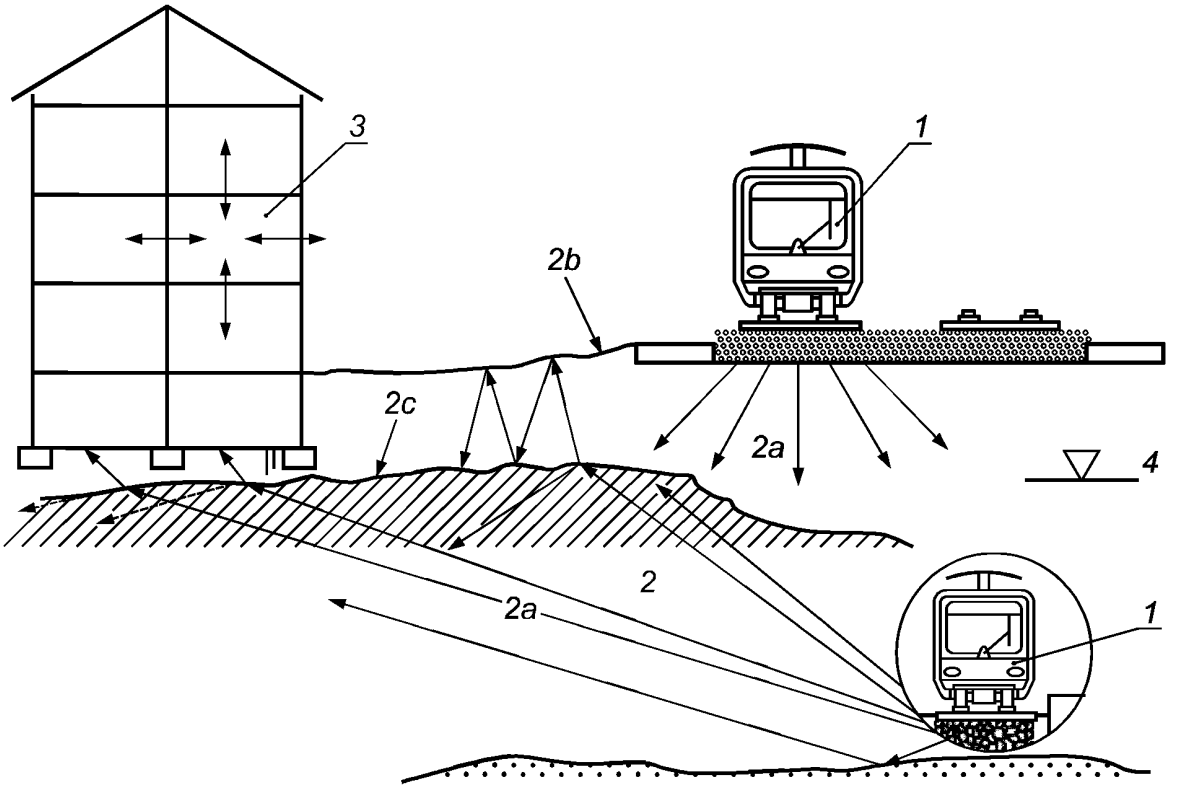
Примечание — Обычно основная энергия колебаний сосредоточена в диапазоне ниже 100 Гц, поскольку это определяется динамическими характеристиками элементов здания.

Диапазон частот при анализе риска повреждений конструкции здания вследствие воздействия вибрации составляет от 1 до 500 Гц, хотя высокие значения механических напряжений, обусловливающие высокий риск повреждений, связаны с низкочастотной вибрацией. Большинство повреждений конструкции здания вследствие действия источников техногенной природы вызвано вибрацией в диапазоне частот от 1 до 150 Гц.

4.2 Источник передаваемой вибрации

4.2.1 Общие положения

Источником вибрации является рельсовый транспорт. Вибрация передается, видоизменяясь, через рельсовые пути на их опору и далее в грунт, окружающие здания, являясь как самостоятельным источником воздействия, так и порождая переизлученный шум. Источник, путь распространения и объект воздействия показаны схематически на рисунке 1. Причина вибрации — взаимодействие колеса и рельсового пути, как показано на рисунке 2.

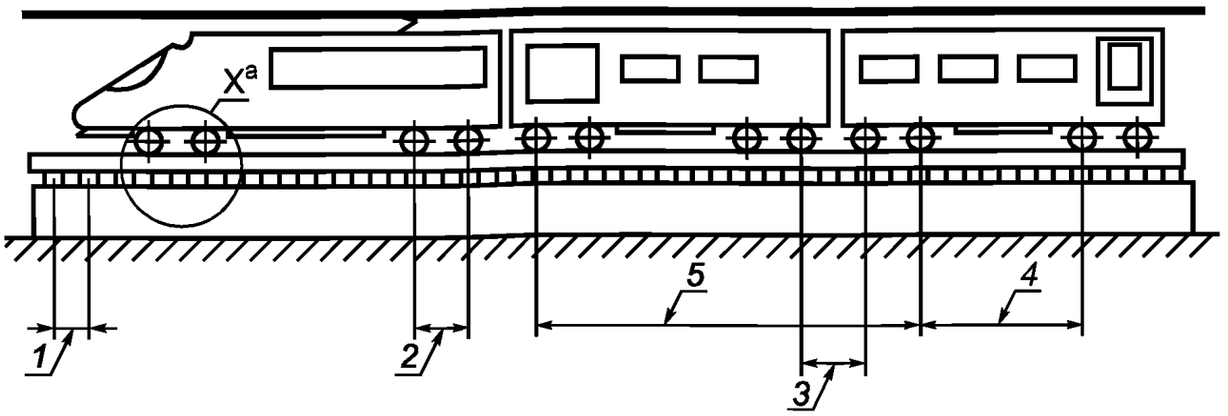


1 — источник вибрации; *2* — путь распространения (*2a* — волны внутри тела: сжатия, сдвига; *2b* — поверхностные волны: Рэлея, Лява; *2c* — волны на границе сред: Стоунли); *3* — объект воздействия (вибрация, переизлученный шум); *4* — поверхность грунтовых вод

Рисунок 1 — Примеры источника, пути распространения и объекта воздействия

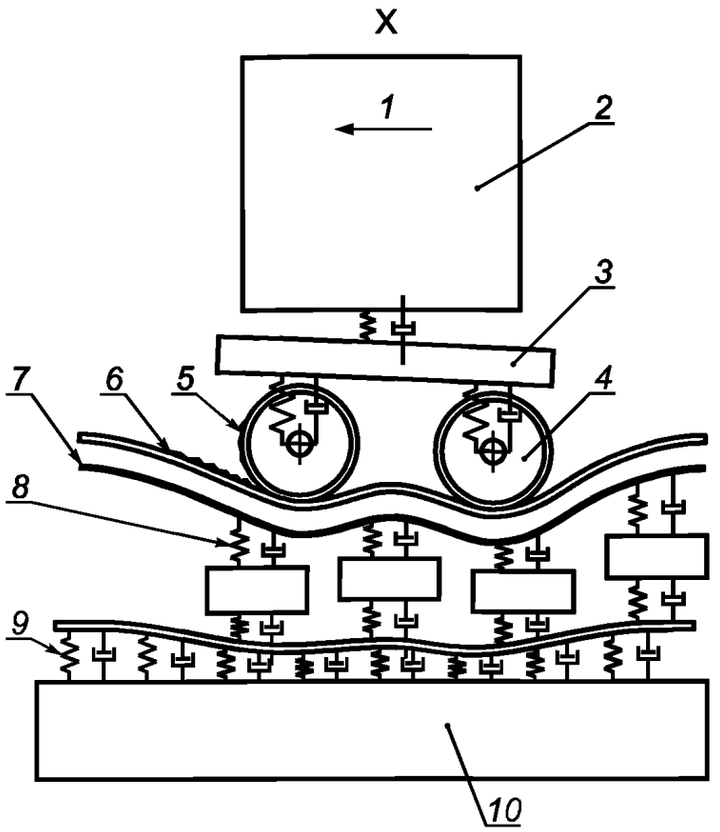
При прогнозировании передаваемой через грунт вибрации и переизлученного шума следует учитывать, что характеристики источника, пути распространения и объекта воздействия зависят от многих факторов (см. приложение А), одни из которых более существенны, чем другие. Данные для прогнозирования должны быть определены из опыта, литературных источников, экспертных оценок или по результатам измерений на месте.

Точность прогностической модели зависит от ее назначения и определяется полнотой учета всех существенных факторов и знанием значений соответствующих параметров.



1 — расстояние между опорными элементами пути; *2* — расстояние между колесными парами тележки; *3* — расстояние между соседними тележками соседних вагонов; *4* — расстояние между тележками одного вагона; *5* — междувагонное расстояние

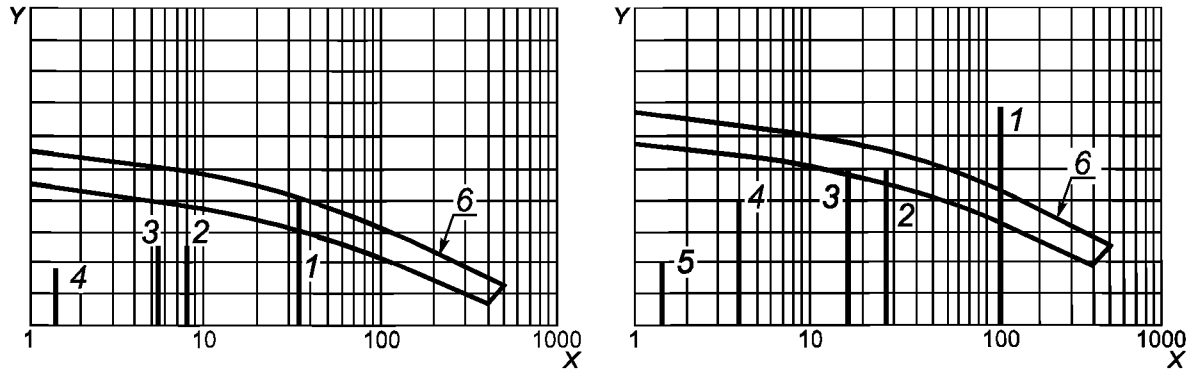
a) Характерные параметры источника вибрации



1 — скорость движения v; *2* — часть массы кузова m_C; *3* — часть массы тележки m_B; *4* — неподрессоренная масса m_W; *5* — неровность поверхности обода колеса; *6* — неровность поверхности катания рельса; *7* — импеданс рельса; *8* — модель системы «рельс — колесо»; *9* — модель системы «основание — рельс»; *10* — импеданс грунта

b) Динамическая модель системы «рельсовый путь — транспортное средство»

Рисунок 2 — Описание источника вибрации, лист 1

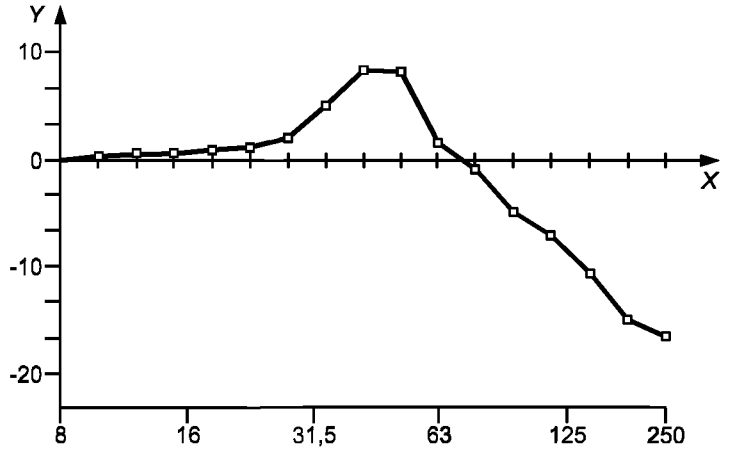


X — частота, Гц; *Y* — сила, дБ; *1* — составляющая на частоте прохождения опорных элементов пути [элемент *1* на рисунке 2 a)]; *2* — составляющая на частоте прохождения колесных пар тележек [элемент *2* на рисунке 2 a)]; *3* — составляющая на частоте прохождения тележек одного вагона [элемент *3* на рисунке 2 a)]; *4* — составляющая на частоте прохождения тележек соседних вагонов [элемент *4* на рисунке 2 a)]; *5* — составляющая на частоте прохождения вагонов [элемент *5* на рисунке 2 a)]; *6* — широкополосная вибрация, связанная с неровностями колес и рельсов

Примечание — Частоту прохождения f_n, Гц, соответствующую *n*-му характерному расстоянию l_n, м [см. рисунок 2 a)], определяют через скорость движения транспортного средства *v*, км/ч, по формуле $f_n = v / (3{,}6 l_n)$.

c) Источники возбуждения на скорости 80 км/ч

d) Источники возбуждения на скорости 250 км/ч



X — частота, Гц (отложены среднегеометрические частоты третьоктавных фильтров); *Y* — вносимое усиление вибрации (относительно эталонного рельсового пути), дБ

e) Пример вносимого усиления вибрации, рассчитанного для модели на рисунке 2 b)

Рисунок 2, лист 2

4.2.2 Механизм возбуждения вибрации

Причинами возбуждения вибрации являются:

a) движущиеся нагрузки (квазистатическое возбуждение), т. е. перемещающийся вместе с движением поезда прогиб пути и опорной системы. Если зафиксировать точку на рельсовом пути, то действующие в ней переменные нагрузки вызывают появление изгибных волн как в самих рельсах, так и в прилегающем грунте. Механизм этого возбуждения еще не известен в деталях (в том числе, влияние граничных условий, неоднородностей пути и грунта на распространение волн). Если высокоскоростной состав движется по пути, уложенному на мягкий грунт, то скорость его движения может превышать скорость распространения поверхностной (рэлеевской) волны в грунте. Это порождает вибрации высокого уровня подобно тому, как полет сверхзвукового самолета сопровождается звуковым ударом. Более всего такая вибрация влияет

на состояние самих путей. Для решения данной проблемы балластный слой рельсового пути устраивают на уплотненном грунте или на бетонных плитах со свайным фундаментом, который достигает более плотных слоев грунта. Если рельсовый путь проложен в туннеле, то его обделка и обратный свод обеспечивают жесткое основание, которое уменьшает уровень вибрации, распространяющейся в окружающий грунт;

b) неровности поверхностей катания колес и рельсов. Случайные неровности в зоне контакта рельса с колесом вызывают возбуждение всей системы «транспортное средство — рельсовый путь». Такие неровности появляются, в первую очередь, в процессе изготовления, поэтому при приемке в эксплуатацию состояние колес и путей должно быть подвергнуто контролю. Однако это не может защитить от появления неровностей в процессе эксплуатации;

c) параметрическое возбуждение. Если рельсовая опора имеет дискретную структуру — шпалы, упругие подушки поверх бетонного основания (в отличие от заглубленных в бетон рельсов), то колесо при качении по рельсу «чувствует» изменение жесткости опоры. Переменная сила упругости создает колебания колеса и рельса на частоте, зависящей от скорости движения транспортного средства и пространственной дискретности опоры. Другая дискретность (и соответствующие ей частоты возбуждения) характеризуется расстояниями между осями колесных пар и тележками. Если частоты возбуждения совпадают с собственными частотами транспортного средства или системы «транспортное средство — рельсовый путь», то колебания пути и окружающего грунта могут быть весьма значительными;

d) дефекты колес (рельсов). Помимо неровностей на поверхностях катания колес и рельсов могут наблюдаться более грубые дефекты, возникающие при эксплуатации транспортных средств и рельсового пути. Наиболее серьезные дефекты рельсов связаны с выбоинами. Выбоины могут присутствовать и на поверхности катания колес, для которых, кроме того, характерны такие дефекты, как овальность формы, дисбаланс и эксцентриситет. Со временем дефекты накапливаются, особенно если рельсовые коммуникации не обеспечены своевременным и должным техническим уходом;

e) разрывы рельсового пути (на стрелочных переводах, в глухих пересечениях, в стыках рельсов и т. д.), вызывающие появление ударов. Если длины стыкующихся или сварных рельсов равны расстоянию между тележками вагонов, уровень вибрации может существенно возрасти;

f) подвеска транспортного средства;

g) случайные или периодические изменения твердости стальной поверхности рельсов, являющиеся следствием дефекта изготовления или (более вероятно) результатом старения рельсового пути;

h) нагрузки в поперечном направлении, в частности при движении транспортного средства по закругленному участку пути малого радиуса или при прохождении стрелочных переводов;

i) изменение режима движения. Ускорение или торможение транспортного средства сопровождается возникновением переменных сил и, соответственно, вибрацией;

j) экстремальные внешние факторы. Например, температура и влажность головки рельса влияют на ее износ и, следовательно, появляющуюся в результате этого вибрацию.

Уровень вибрации, обусловленной вышеперечисленными причинами, зависит от входных импедансов головки рельса и обода колеса в области их контакта.

Значение входного импеданса головки рельса определяется конструкцией верхнего строения рельсового пути, его основания, а также характеристиками прилегающего грунта.

Входной импеданс колеса в исследуемой области частот зависит в основном от неподрессоренной массы транспортного средства. Однако для жесткой подвески (например, из-за отсутствия должного технического ухода или вследствие особенностей конструкции демпфера и его поведения на высоких частотах) большое значение имеет также общая масса транспортного средства вместе с грузом.

4.3 Распространение вибрации

Если рельсовый путь проложен по поверхности земли или на эстакаде, вибрация передается через грунт в основном в виде поверхностных волн.

Если рельсовый путь проходит через туннель, вибрация передается через грунт в виде продольных и сдвиговых волн. На некотором расстоянии от туннеля, которое зависит от его глубины, преобладающими вновь становятся поверхностные волны.

Вибрация и переизлученный 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 или когда здание расположено на небольшом расстоянии от туннеля и фундамент здания и скальную породу разделяет только тонкий слой грунта, существенной может оказаться вибрация на более высоких частотах.

Балластный слой рельсового пути работает как фильтр нижних частот, подавляя составляющие вибрации в высокочастотной области спектра. Грунт также обладает демпфирующими свойствами, поэтому

с увеличением расстояния (в зависимости от материала грунта) в спектре частот вибрации начинают преобладать низкочастотные составляющие.

Если здание находится в прямом контакте с туннелем (т.е. туннель является составной частью фундамента здания), основной путь прохождения волны лежит через конструкцию здания, поэтому прогностическая модель должна учитывать динамические характеристики этой конструкции. Вибрация будет передаваться на конструкцию не только через продольные и сдвиговые волны, но также иметь вид изгибных колебаний.

При анализе распространения вибрации следует принимать во внимание все объекты искусственной природы, встречающиеся на ее пути (туннели, коммуникации, канализацию, арматуру и пр.), а также, при необходимости, влияние грунтовых вод.

Следует тщательно оценить демпфирующие свойства грунта. Водонасыщенный пористый грунт может вносить вязкое демпфирование на высоких частотах. Однако глобально упрощать модель распространения вибрации (например, предполагать наличие вязкого демпфирования во всем диапазоне частот) следует с большой осторожностью, поскольку это может приводить к существенным ошибкам прогноза, особенно на высоких частотах. В отсутствие значительных механических напряжений грунт обычно рассматривают как линейную систему, хотя в общем случае степень нелинейности в поведении грунта в той или иной мере зависит от действующих в нем напряжений. Необходимость учитывать нелинейные эффекты зависит от типа модели и более детально рассмотрена в разделе 9.

Примечание 1 — Слоистость грунта может привести к разному ослаблению составляющих разных участков спектра при распространении вибрации.

Примечание 2 — Упрощение геометрии границ между разными слоями грунта может в некоторых случаях приводить к большим ошибкам прогноза.

4.4 Объект воздействия

Исследуемый диапазон частот вибрации и переизлученного шума в зданиях составляет приблизительно от 1 до 250 Гц. Составляющие на более высоких частотах могут наблюдаться для грунта некоторых видов (например, скальной породы) на пути распространения вибрации или при наличии прямой механической связи здания с туннелем.

Прогностическая модель должна включать в себя передаточную функцию между свободным полем и фундаментом здания. Модель должна учитывать возможные усиления или ослабления передаваемой вибрации на разных частотах вследствие особенностей частотных характеристик элементов конструкции здания (например, междуэтажных перекрытий).

Следствием вибрации грунта может быть излучение шума в помещениях. Это излучение является пространственно- и частотно-зависимым и определяется излучательной способностью элементов конструкции зданий, а также назначением помещений. При моделировании объекта воздействия необходимо учитывать форму помещений и условия их использования (например, модель для жилой комнаты может быть иной, чем для большой аудитории).

5 Формы воздействия передаваемой вибрации и переизлученного шума

5.1 Общие положения

В настоящем разделе рассмотрено влияние вибрации, передаваемой через грунт, и переизлученного шума в соответствующих диапазонах частот на здания, находящихся в них людей и оборудование, чувствительное к динамическим воздействиям, а также возможные уровни вибрации для воздействий разных видов.

5.2 Воздействие вибрации на людей в зданиях (диапазон частот от 1 до 80 Гц)

Вибрация конструкции здания может ощущаться находящимися в нем людьми и оказывать на них разное влияние — от ухудшения общего качества жизни до снижения производительности труда. Воздействие вибрации на людей в зданиях рассмотрено в ИСО 2631-2 [4].

Уровни вибрации, создаваемой в зданиях близкопроходящим транспортным средством, таковы, что могут вызывать недовольство, дискомфорт, снижение качества выполняемой работы и в редких случаях приводить к нарушению здоровья.

ИСО 2631-2 [4] устанавливает функцию частотной коррекции для оценки воздействия общей вибрации на человека внутри зданий и руководство по оценке жалоб со стороны населения на раздражающее действие вибрации.

Примечание — Вибрация может ощущаться визуально, например через раскачивание подвесных светильников. Это обычно характерно в случае движения транспортного средства по рельсовому пути на уровне земли (не в туннеле).

5.3 Воздействие переизлученного шума (диапазон частот от 16 до 250 Гц)

Переизлучение шума происходит тогда, когда зачастую неощутимая вибрация возбуждает колебания панелей здания, и некоторая часть колебательной энергии излучается в виде слышимого шума, обычно внутрь помещений. Переизлученный шум чаще ассоциируют с движением поездов внутри туннелей, поскольку в этом случае здание полностью экранировано от передачи шума по воздуху и вибрация земной поверхности — единственный источник создания такого шума. Однако он может быть связан и с движением по рельсовому пути на поверхности земли, если окна помещения выходят на противоположную сторону.

Переизлученный шум может вызывать недовольство обитателей зданий и мешать их деятельности. Высокий уровень шума может служить помехой сну.

Примечания

1 Переизлученный шум обычно воспринимается через воздух, но люди, лежащие, например, на кровати, могут воспринимать как шум достаточно слабую вибрацию, если она передается по корпусу кровати и воздействует непосредственно на ушные кости.

2 Дребезжание некоторых предметов способно создать шум на более высоких частотах (см. 4.1, примечание 3).

5.4 Воздействие вибрации на здания (диапазон частот от 1 до 500 Гц)

Вибрация высокого уровня или большое число циклов повторяющихся импульсных воздействий могут привести к повреждению конструкции здания либо непосредственно через механические напряжения (деформации) в конструкции, либо через осадку слабосвязанного грунта. Вибрация, приводящая к повреждению зданий (даже косметического характера), должна быть в 10 — 100 раз выше той, что вызывает недовольство обитателей зданий, поэтому такая вибрация для людей непереносима. Более подробно данный вопрос рассмотрен в ИСО 4866 [6] и соответствующих национальных стандартах[1)].

Передаваемую через грунт вибрацию от рельсовых транспортных средств следует рассматривать с точки зрения повышения риска повреждений здания при проведении строительных работ вследствие осадки грунта как во время строительства, так и по его завершении.

Примечания

1 Вибрация, помимо зданий, может оказывать воздействие и на другие сооружения (туннели, инженерные коммуникации), что также следует принимать во внимание.

2 В большинстве случаев повреждение зданий связано с воздействием вибрации в диапазоне частот от 1 до 150 Гц.

5.5 Влияние вибрации на оборудование и технологические процессы, чувствительные к динамическим воздействиям (диапазон частот приблизительно от 1 до 200 Гц)

Часто необходимо принимать во внимание возможный результат воздействия вибрации на оборудование и правильность его функционирования (например, на приводы жестких дисков и электрические реле в компьютерах). См. ИСО 8569 [8] и ИСО/ТС 10811 [10].

Обычно вибрация от рельсового транспорта, особенно в туннелях, не оказывает нежелательного влияния на такое оборудование, поскольку уровень динамических воздействий, которым подвергаются, например, компьютеры в обычных условиях их применения (от шагов по полу, хлопанья дверей и т. п.) намного выше имеющего место вследствие воздействия внешних источников.

Существуют, однако, оборудование и технологические процессы, характеризующиеся повышенной чувствительностью к динамическим воздействиям, например производство компьютерных микросхем, некоторые технологии с использованием лазерной техники, лабораторное оборудование (такие как микроскопы и спектроскопы), хирургические операции некоторых видов.

На такое оборудование и процессы может оказать негативное влияние даже очень слабая вибрация — намного ниже уровня человеческого восприятия. Это влияние обычно проявляется через неправильные результаты измерений, неточное позиционирование или фокусирование оборудования, создание помех лицам, выполняющим тонкие рабочие операции.

Вибрация от рельсового транспорта может оказывать негативные воздействия непосредственно или в сочетании с фоновым шумом.

В ряде случаев следует принимать специальные меры по снижению чрезмерно высокого уровня воздействующей вибрации. Чаще всего для этого применяют изоляторы, устанавливаемые между обору-

---

[1)] В Российской Федерации действует ГОСТ Р 52892—2007 «Вибрация и удар. Вибрация зданий. Измерение вибрации и оценка ее воздействия на конструкцию».

дованием и полом, а также виброизоляцию самого пола, настилают массивные и жесткие полы в помещениях с установленным оборудованием, используют устройства для предотвращения хлопанья дверей при их закрытии, специальные напольные покрытия и специальную обувь для снижения вибрации от шагов, изолируют энергетическое и другое оборудование внутри здания для предотвращения передачи вибрации на конструкцию. Правильно выбранные конструкции пола и системы изоляции уменьшают и влияние вибрации от рельсового транспорта. При вводе новых рельсовых коммуникаций целесообразно сравнивать, как изменилась вибрация пола в лаборатории по сравнению с прежним уровнем, обусловленным источниками внутри здания.

Обычно рекомендации по эксплуатации оборудования, чувствительного к динамическим воздействиям, предоставляет его изготовитель. Конечный пользователь также может установить некоторые предельные значения воздействий, основываясь на технических документах или личном опыте.

6 Показатели

6.1 Общие положения

Показатели и соответствующие условия измерений должны быть определены, чтобы количественно характеризовать воздействие передаваемой вибрации и переизлученного шума на людей, конструкцию зданий и оборудование, чувствительное к динамическим воздействиям.

Показатели должны быть определены в тех местах, где они могут быть сопоставлены с заданными предельными значениями. Необходимо учитывать, что результаты измерений могут сильно варьироваться в зависимости от выбранного места измерений (например, вибрация в середине панели или балки обычно выше, чем у опоры, а уровни шума у стен или в углах комнаты выше, чем в ее центре).

Необходимо рассмотреть, как влияют на значения показателя изменения различных факторов (например, типа транспортного средства). Помимо прогнозных значений следует указывать их доверительный интервал для сравнения с принятыми предельными значениями, переделы вариативности результатов измерений должны быть обоснованы достаточным объемом полученных выборок.

Рекомендуется сохранять записи, полученные в процессе измерений, чтобы при необходимости определить на их основе значения других показателей.

6.2 Воздействие вибрации на людей в зданиях

Измеряемый параметр вибрации для оценки ее воздействия на людей в зданиях может быть определен в соответствующих национальных стандартах и согласован с установленными предельными значениями. Общее руководство по оценке воздействия вибрации на людей в зданиях приведено в ИСО 2631-1 [3] и ИСО 2631-2 [4]. Оценку этого воздействия следует осуществлять на основе измерений среднеквадратичных значений корректированного ускорения в трех взаимно перпендикулярных направлениях. В ИСО 2631-1 [3] и ИСО 2631-2 [4] приведены также рекомендации по выбору точек измерений.

Рекомендуется сохранять исходные данные, чтобы использовать их, например, при изменении показателя.

Как правило, для представительной оценки вибрации достаточно измерений в вертикальном направлении на полу в середине помещения, но для высотных зданий необходимы также измерения в горизонтальных направлениях.

Примечания

1 В соответствии с некоторыми национальными стандартами зарубежных стран для оценки вибрации используют результаты измерений среднеквадратичного значения корректированной скорости.

2 Среднеквадратичное значение корректированного ускорения может быть получено в процессе измерения скорости при использовании соответствующей функции частотной коррекции.

3 Для оценки общей вибрации в национальных стандартах зарубежных стран применяют также такие показатели, как пиковое значение скорости, среднеквадратичное значение корректированной скорости с использованием иных функций частотной коррекции, доза вибрации, параметры статистического распределения значений корректированной скорости или ускорения.

6.3 Воздействие переизлученного шума

В соответствующих национальных стандартах должно быть установлено, какой параметр переизлученного шума должен быть измерен для дальнейшего сопоставления результата измерений с установленными предельными значениями.

Для облегчения дальнейшей разработки стандартов, связанных с нормированием переизлученного шума, его следует оценивать на основе максимального уровня звука, измеренного для характеристики

шумомера «медленно» $L_{pAS\ max}$ с сохранением исходной записи сигнала звукового давления, что позволит получать значения, например, таких показателей, как L_{pAeq} или третьоктавный спектр для единичного события (например, прохождения подвижного состава).

Значения показателей должны быть спрогнозированы или получены по результатам измерений вблизи центра помещения, но не в самом центре, чтобы избежать нежелательного влияния стоячих волн.

Примечания

1 Значение $L_{pAS\ max}$, измеренное вблизи центра помещения, наиболее часто используют в настоящее время для оценки переизлученного шума.

2 Другой параметр, также применяемый для оценки переизлученного шума — $L_{pAF\ max}$ для характеристики шумомера «быстро», — превышает значения $L_{pAS\ max}$ приблизительно на 1—2 дБ для бесстыкового рельсового пути и на 3—4 дБ для звеньевого рельсового пути.

3 Шум, прогнозируемый или измеренный вблизи стен, может превышать шум, спрогнозированный (измеренный) вблизи центра помещения на 2—3 дБ.

Следует обращать внимание на то, что уровни шума будут различными в разных помещениях здания.

Измерения следует проводить в помещениях, обставленных мебелью, с закрытыми окнами, без людей.

Примечания

4 Если в переизлученном шуме преобладают низкочастотные составляющие, то субъективная реакция на этот шум может быть более негативной, чем предполагаемая на основе прогноза (измерения) общего уровня звукового давления.

5 Когда высоким уровнем переизлученного шума сопровождается не единичное событие, а значительное число таких событий, то для оценки воздействия шума помимо L_{pAeq} целесообразно использовать также значения L_{Aeq}, полученные на более длительном интервале времени, например 1 ч.

6.4 Воздействие вибрации на здания

ИСО 4866 [6] установил руководство по прогнозированию, выбору точек измерений и оценке воздействия вибрации на конструкцию зданий. В качестве показателя для оценки риска повреждения конструкции зданий обычно используют пиковое значение скорости.

Примечание — Предельные значения вибрации зданий могут быть установлены соответствующими национальными стандартами.

6.5 Влияние вибрации на оборудование, чувствительное к динамическим воздействиям

Применяют показатели (для соответствующих мест измерений), установленные в технической документации изготовителей оборудования, определенные пользователем оборудования или согласно ИСО 8569 [8]. В ИСО/ТС 10811 [10] установлен новый принцип классификации вибрационных воздействий на чувствительное оборудование.

Примечания

1 В конечном итоге воздействие вибрации на чувствительное оборудование определяется перемещениями частей этого оборудования друг относительно друга.

2 Обычно в промышленности используют обобщенные критерии допустимых вибрационных воздействий для разных условий применения оборудования.

7 Измерения передаваемой вибрации и переизлученного шума

7.1 Средства измерений

7.1.1 Общие положения

Должны быть определены характеристики измерительной цепи, в состав которой могут входить датчики вибрации (микрофоны), согласующие усилители, кабели, устройства сбора и хранения данных. Диапазон частот измерений должен соответствовать поставленной задаче. Динамический диапазон должен быть достаточен для измерений как фонового шума, так и максимально возможных на практике значений.

Измерительная цепь должна быть калибрована в соответствии с национальными стандартами.

7.1.2 Средства измерений вибрации

При определении характеристик и при калибровке измерительной цепи следует руководствоваться ИСО 8041 [7].

Измерительная цепь в целом (от датчика вибрации до устройства записи) должна обеспечивать измерения вибрации в соответствующем диапазоне значений (от $5 \cdot 10^{-4}$ до 100 мм/с для скорости и от $3 \cdot 10^{-6}$

до 500 м/с^2 для ускорения) и частот (от 1 до 500 Гц). Реальный диапазон для конкретных измерений зависит от целей измерений (например, оценка вибрации, воздействующей на чувствительное оборудование, может потребовать измерений скорости в нижней части динамического диапазона). Результаты измерений вибрации от рельсовых транспортных средств могут быть использованы для прогноза шума, что, в свою очередь, ужесточает требования к средствам измерений (например, по диапазону частот и чувствительности датчиков вибрации). Поэтому необходимо убедиться, что измерительная цепь обладает достаточно низкими собственными шумами.

Предпочтительно использовать устройства сбора оцифрованных данных. Система сбора данных должна содержать необходимые средства предварительной обработки (например, фильтр нижних частот для защиты от наложения спектров) для повышения точности записываемых данных. Средства измерений должны быть установлены и настроены таким образом, чтобы максимально уменьшить негативное влияние внешних факторов (электрических и магнитных полей, трибоэлектрических сигналов, паразитных цепей заземления). Если измерения проводят во временно́й области, должны быть известны фазовые характеристики измерительной цепи.

С помощью датчиков вибрации может быть измерена любая величина — перемещение, скорость или ускорение — при условии обеспечения требуемого диапазона частот и чувствительности. Датчики и измерительная система в целом должны допускать возможность их применения на открытом воздухе в реальных условиях измерений.

Необходимо обеспечить надежный контакт датчика с вибрирующей средой (например, зарытием в грунт или креплением к вбиваемому в грунт металлическому стержню длиной 300 мм при измерении вибрации грунта, использованием эпоксидных смол для быстрого крепления датчика на фундамент или стену здания, установкой на полу здания с помощью двусторонней клеящей ленты, применением тяжелых металлических дисков с острыми выступами для фиксации на полу с упругим покрытием). Способ установки датчика должен быть выбран таким, чтобы резонансная частота установленного датчика не попадала в диапазон частот измерений.

Измерения вибрации на рельсовом пути (рельсах, шпалах) обычно требуют жесткого механического крепления датчиков, позволяющего обеспечить точное измерение вибрации высокого уровня, возможной при прохождении рельсовых транспортных средств. Необходимо убедиться, что установка измерительной системы вблизи рельсового пути не мешает работе систем сигнализации.

7.1.3 Средства измерений шума

Средства измерений шума должны соответствовать требованиям к шумомерам первого класса по МЭК 61672-1 [14].

Измерительная цепь должна быть калибрована с использованием оборудования, соответствующего требованиям МЭК 60942 [12].

Параметры шума могут также быть получены на основе результатов измерений вибрации (см. 7.1.2).

7.2 Точки измерений

Выбор точек измерений зависят от решаемой задачи, такой как:

a) проведение исследований и построение модели;

b) оценка воздействия вибрации на конструкцию здания (обычно точки измерений располагают на его фундаменте);

c) оценка воздействия вибрации на людей в здании (обычно точки измерений располагают на полу посередине помещений);

d) оценка воздействия вибрации на чувствительное оборудование (обычно точки измерений располагают вблизи областей контакта оборудования с опорой);

e) оценка воздействия на людей переизлученного шума (обычно измерения проводят вблизи центра помещения или согласно стандартам серии ИСО 140 [1]).

Измерения, проводимые в целях исследований и построения модели, могут потребовать, например, оценки вибрации в ее источнике вблизи рельсовых путей или степени изменения вибрации при удалении от источника.

На исследуемом участке рельсового пути вариативность измерений может быть обусловлена, например, изменениями как самого источника вибрации, так и состояния грунта. Поэтому для получения статистически достоверных результатов измерения следует повторять, перемещая точки измерений вдоль пути. Так, исследуя распространение вибрации при удалении от рельсового пути, измерения проводят, устанавливая датчики на расстоянии от пути, например, 8, 16, 32, 64 и 125 м, а затем эти датчики переносят вдоль пути на расстояние 25 м.

Обычно рекомендуется измерять вибрацию в вертикальном направлении и в горизонтальных направлениях: параллельно и перпендикулярно рельсовому пути. Другой вариант — ориентировать оси чувствительности датчиков согласно конструкции здания или помещения, где проводят измерения, и указывать в протоколе измерений положение этих осей относительно рельсового пути.

7.3 Собираемые данные

Для того чтобы оценить вариативность источников вибрации, измерения проводят, по крайней мере, для пяти прохождений транспортного средства каждой категории (например, грузовой состав, пригородный поезд, поезд междугороднего сообщения, скоростной поезд). Данные оценивают непосредственно в процессе измерений, и если разброс результатов превышает ± 25 % или 2 дБ, число измерений увеличивают.

В процессе измерений записывают также данные фоновой вибрации (шума).

7.4 Анализ данных

Постоянная времени измерительного прибора (например, характеристика «быстро» или «медленно») и третьоктавные фильтры должны соответствовать требованиям МЭК 61672-1 [14] и МЭК 61260 [13].

Работоспособность программных и аппаратных средств анализа должна быть проверена.

Вибрация от проходящих составов имеет характер переходных процессов, частотные составляющие которых невозможно определить каким-либо одним установленным методом. Поэтому выбор метода анализа (например, измерение текущих среднеквадратичных значений, быстрое преобразование Фурье, измерение среднеквадратичных значений с удержанием максимального значения) может существенно повлиять на вид спектра переходного процесса. Применяемый метод анализа должен быть указан в протоколе измерений (см. также раздел 6).

7.5 Протокол измерений

Протокол измерений должен содержать, как минимум, следующие сведения:

a) применяемое руководство по измерениям (например, настоящий стандарт);

b) дату и место проведения измерений, организацию и лицо, проводившие измерения;

c) используемые средства измерений, включая заводские номера датчиков и других элементов измерительной системы, метод установки (крепления) датчиков;

d) точки и направления измерений с указанием их ориентации относительно рельсового пути;

e) основные характеристики рельсового пути и места проведения измерений, которые влияют на распространяемую вибрацию и переизлученный шум (см. приложение А);

f) измеряемые показатели (см. раздел 6);

g) результаты измерений отдельно для каждого прохождения поезда по каждому рельсовому пути с указанием:

- категории поезда (включая число вагонов),
- скорости, пути, направления движения,
- времени прохождения и времени анализа вибрации (шума);

h) дополнительную информацию, которая может быть важна для анализа полученных данных (например, погодные условия, наличие поверхностных вод, наличие насыпного грунта, наличие источников электрических или магнитных помех).

8 Принцип построения моделей

8.1 Разработка модели

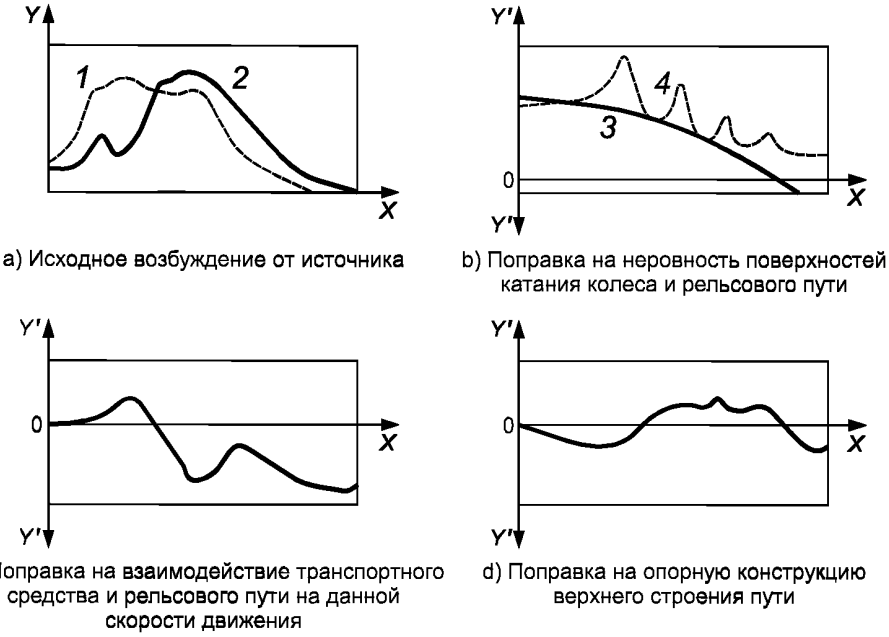
При разработке модели необходимо опираться на основные характеристики источника вибрации, пути ее распространения и объекта воздействия.

Однако модель не всегда можно разделить на три независимые составляющие. В некоторых случаях она должна представлять собой единую систему (например, в случае рельсовых путей, проходящих через строительные сооружения и эстакады, где нельзя четко отделить источник вибрации от пути распространения и объекта воздействия).

Вибрация и шум от рельсового транспорта должны быть представлены в частотной области, что позволяет построить показатели согласно разделу 6. Базовая модель должна обеспечить получение амплитуд $A(f)$ частотных составляющих вибрации или шума в заданных точках как функции характеристик источника $S(f)$, пути распространения $P(f)$, объекта возбуждения $R(f)$ и их всевозможных комбинаций, где f — частота, Гц.

Основные элементы модели (источник, путь распространения, объект возбуждения) должны быть охарактеризованы через соответствующие параметры (см. приложение А). Число рассматриваемых параметров зависит от этапа оценивания (см. 8.2). Примеры таких параметров приведены на рисунках 3 и 4.

Иногда для упрощения модели допускается описывать ее элементы через несвязанные уравнения. Однако в общем случае эти элементы взаимосвязаны, поэтому в более подробном описании следует учитывать комбинационные составляющие.



a) Исходное возбуждение от источника

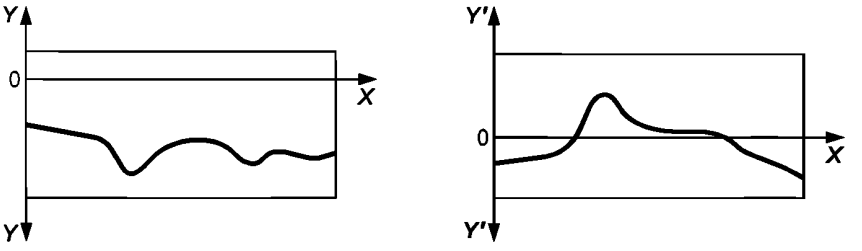
b) Поправка на неровность поверхностей катания колеса и рельсового пути

c) Поправка на взаимодействие транспортного средства и рельсового пути на данной скорости движения

d) Поправка на опорную конструкцию верхнего строения пути

X — частота (в логарифмическом масштабе); *Y* — функция возбуждения (в логарифмическом масштабе); *Y′* — поправка для функции возбуждения (в логарифмическом масштабе); *1* — мягкий грунт; *2* — скальный грунт; *3* — хорошее состояние поверхностей катания; *4* — поверхности катания с выбоинами

Рисунок 3 — Элементы модели источника вибрации



a) Поправка на путь распространения

b) Поправка на объект воздействия

X — частота (в логарифмическом масштабе); *Y* — поправка для функции возбуждения на пути распространения (в логарифмическом масштабе); *Y′* — поправка для функции возбуждения в объекте воздействия (в логарифмическом масштабе)

Рисунок 4 — Модели пути распространения и объекта воздействия

8.2 Этапы оценивания

8.2.1 Общие требования к модели

Обычно модель строят для прогноза уровней вибрации, возникающей после введения нового участка рельсовых коммуникаций. Если режим работы данного участка претерпевает изменения или вблизи него возводят новые сооружения, то обычно для расчета уровней шума и вибрации достаточно внести поправки в уже построенную модель.

Требования к модели для нового участка рельсовых коммуникаций различны на разных стадиях разработки.

8.2.2 Модель для нового участка рельсовых коммуникаций

8.2.2.1 Общие положения

Тип и вид модели, а также обеспечиваемая ею точность прогнозирования должны соответствовать определенному этапу проектирования нового участка рельсовых коммуникаций и основываться на всех данных об объекте моделирования, имеющихся на данном этапе.

Для разных этапов проектирования может быть использована одна и та же модель при условии соответствующего выбора исходных параметров (например, параметры, соответствующие наихудшему прогнозу, полученному на стадии предварительного проектирования). В противном случае для каждого этапа проектирования следует рассматривать свою модель расчета передаваемой вибрации и переизлученного шума:

a) предпроектные работы. Соответствующую модель используют на самых ранних этапах проектирования рельсовых коммуникаций с целью оценить, представляют ли вибрация от рельсового транспорта и переизлученный шум существенную проблему, требующую специального рассмотрения, и — в случае положительного ответа на данный вопрос — какой именно участок пути требует специального рассмотрения. Результатом работы данной модели должны быть исходные данные для сравнительных расчетов воздействий на окружающую среду (как часть выбора проекта рельсовых коммуникаций) или для оценки воздействий на окружающую среду для заданного проекта рельсовых коммуникаций;

b) инженерные изыскания. На этом этапе модель используют для уточнения источников и степени негативного воздействия рельсовых коммуникаций на окружающую среду через распространяемую вибрацию и (или) переизлученный шум, а также разработки общих мер по снижению тяжести последствий таких воздействий или их устранению. Данная модель является составным элементом системы планирования для обоснования предложенного проекта и формулировки, где это необходимо, дополнительных мер по защите окружающей среды;

c) рабочий проект. На данном этапе расчетную модель используют для подтверждения обоснованности рабочего проекта в части принятых мер по ослаблению передаваемой вибрации, требования к которым были сформулированы на стадии инженерных изысканий. Особое внимание при этом обращают на парк подвижного состава и верхнее строение рельсовых путей.

На каждом этапе проектирования существуют свои требования к комплексности, простоте использования и точности модели (см. рисунок 5, а также 8.2.2.2 — 8.2.2.4).

8.2.2.2 Этап предпроектных работ

На данном этапе модель должна быть простой, позволяющей быстро проводить необходимые расчеты. Она должна учитывать только небольшое число основных параметров, например доступных на самых ранних этапах проектирования:

- тип рельсового пути (для местного сообщения, массовых перевозок пассажиров, ширококолейного городского транспорта, движения грузовых или скоростных поездов);
- взаимное расположение объектов (например, расстояние строительной конструкции от туннеля - мелкого, среднего или глубокого заложения);
- основной тип грунта: твердый, средний или мягкий;
- чувствительность к вибрации объекта воздействия: высокая (например, для студий звукозаписи, аудиторий), средняя (обычное жилье) или низкая (промышленные здания).

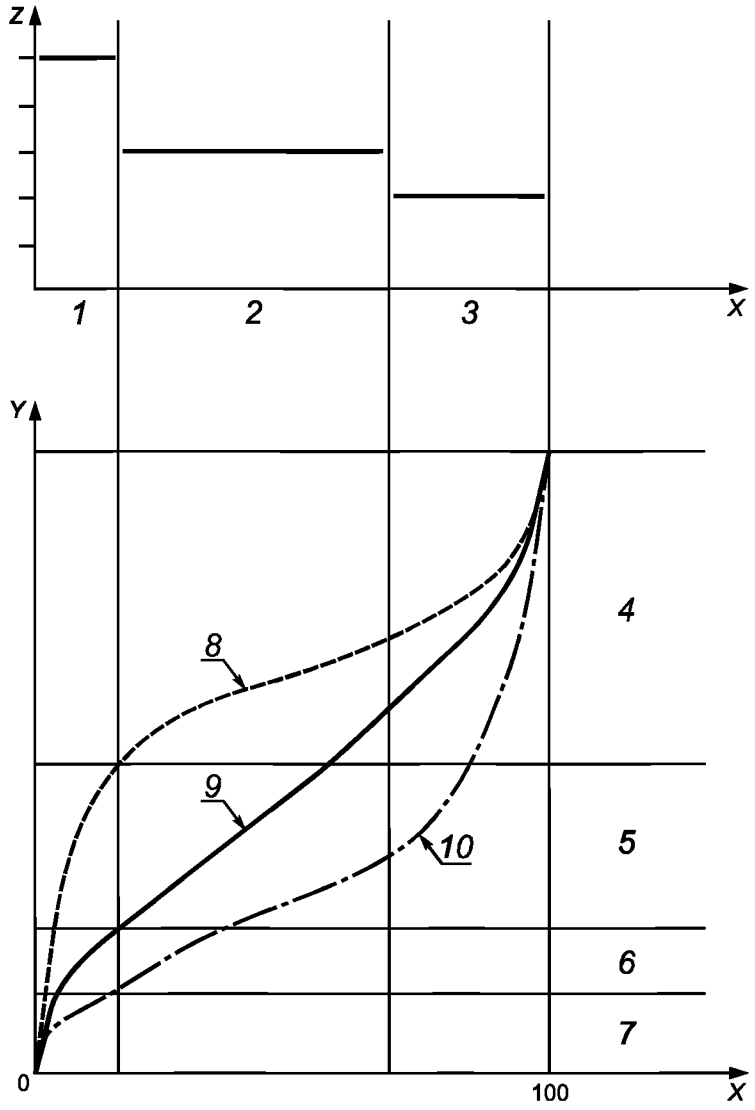
Модель должна позволять оценивать, на каком расстоянии от рельсовых путей превышение предельных уровней для вибрации и переизлученного шума, заданных в проекте, будет маловероятным.

В условиях ограниченной информации на начальном этапе проектирования модель должна рассматривать только «наихудшие случаи» и основываться, предпочтительно, на результатах измерений для аналогичных рельсовых коммуникаций.

8.2.2.3 Этап инженерных изысканий

Модель для инженерных изысканий должна быть более комплексной, позволяющей учесть дополнительные данные, имеющиеся на этом этапе проектирования (см. рисунок 5).

Модель должна позволять получить более точные количественные оценки степени жесткости вибрационного и шумового воздействия в заданных точках и необходимой степени ослабления такого воздействия. Как следствие, в модели должны быть учтены все параметры, оказывающие существенное влияние на оценку уровней передаваемой вибрации и переизлученного шума (перечень таких параметров приведен в приложении А), а также преимущества и недостатки разных решений по ослаблению шума и вибрации.



X — завершенность проекта, %; *Y* — время; *Z* — допустимая погрешность; *1* — модель на этапе предпроектных работ; *2* — модель на этапе инженерных изысканий; *3* — модель рабочего проекта; *4* — стадия проектирования и строительства; *5* — стадия планирования и инженерных изысканий; *6* — стадия выбора маршрута рельсового пути; *7* — стадия генерального плана; *8* — проект с низкой чувствительностью к планированию; *9* — проект с обычной чувствительностью к планированию; *10* — проект с высокой чувствительностью к планированию

Рисунок 5 — Допустимые погрешности прогнозирования на разных этапах проектирования и строительства

В поисках путей ослабления шума и вибрации необходимо рассматривать следующее (см. также приложение В):

- конструкцию и способы обслуживания верхнего строения пути;
- конструкцию и способы обслуживания подвижного состава;
- геометрию рельсового пути (расстояния в вертикальном и горизонтальном направлениях);
- опору рельсового пути (например, туннель, земляное полотно, эстакада);
- конструкцию зданий, являющихся объектом воздействия.

Построенная модель может быть эмпирической (с использованием экспериментальных данных), теоретической или являться сочетанием моделей этих двух типов. При построении модели необходимо, чтобы она учитывала частотный состав вибрации.

8.2.2.4 Этап рабочего проекта

Модель на этапе рабочего проекта должна оперировать либо с абсолютными, либо с относительными параметрами шума и вибрации. Ее часто используют для более детального анализа одного из элементов системы: источника, пути распространения или объекта воздействия.

Выходные данные модели могут служить исходной информацией для модели, построенной на этапе инженерных изысканий, чтобы учесть изменения прогнозируемого уровня шума и вибрации по мере разработки проекта. Модель должна учитывать частотный состав вибрации: в октавных, третьоктавных или узких полосах частот.

Поскольку результаты расчетов по данной модели используют для обоснования выбора конструкции и характеристик как рельсового пути, так и близлежащих строений, она должна учитывать влияние всех существенных параметров, перечисленных в приложении А. Модель может быть эмпирической, теоретической, а также являться сочетанием моделей этих двух типов.

8.2.3 Поправки, связанные с изменением рельсовых коммуникаций или возведением новых сооружений

В строительстве новых рельсовых коммуникаций есть много общего, но существуют и различия.

Прежде всего следует измерить вибрацию, наблюдаемую при эксплуатации действующих путей. Собранные данные необходимо проанализировать с учетом того, какой показатель будет использован для оценки прогнозируемых воздействий (см. раздел 6). Кроме того, следует провести анализ для данных, усредненных по времени, в третьоктавных и узких полосах частот.

Построенный прогноз должен, как правило, позволять оценить:

- влияние изменений в рельсовых коммуникациях (подвижном составе, пути, конструкции туннеля);
- уровни вибрации и переизлученного шума, которые будут наблюдаться во вновь возведенном здании вблизи от рельсовых путей.

При изменениях рельсового пути или бандажа оценка должна учитывать изменившиеся условия контакта колеса с рельсом.

Так же, как и при проектировании новых рельсовых коммуникаций, должны быть проведены исследования для нижеуказанных этапов:

a) предпроектных работ — чтобы определить, не требует ли новое здание мер защиты от передаваемой через грунт вибрации и переизлученного шума и не должны ли быть внесены изменения в конструкцию рельсового пути;

b) инженерных изысканий — для подтверждения степени жесткости создаваемой вибрации (шума) и определения на этой основе необходимых мер защиты вновь возводимого здания (например, изоляции основания) или модификации конструкции рельсового пути (например, верхнего строения);

c) рабочего проекта — для подтверждения обоснованности выбранной конструкции нового здания (фундамента, междуэтажных перекрытий, изоляции основания) или предлагаемых изменений подвижного состава, пути, конструкции туннеля.

Результатом применения модели на каждом из вышеуказанных этапов должно быть полученное значение вносимого усиления или модуля передаточной функции. Полученную передаточную функцию применяют, используя в качестве входного воздействия данные наблюдаемой вибрации, для расчета значений соответствующих показателей (для вибрации и переизлученного шума).

9 Прогностические модели

9.1 Общие положения

В приложении А приведен перечень параметров, которые необходимо рассматривать в каждой конкретной ситуации. Все параметры, на основе которых строят прогноз, должны быть зарегистрированы. Может потребоваться обоснование причин, почему тот или иной параметр не принят в рассмотрение. Необходимо оценить, какое влияние на прогноз окажет неопределенность задания исходных параметров.

Модели для прогнозирования вибрации от рельсового транспорта и переизлученного шума могут быть параметрическими, эмпирическими или гибридными. Эти три типа модели широко используют на практике, и выбор среди них зависит от доступности исходных данных и целей прогноза. Для определения передаточной функции может быть использовано непрерывное возбуждение геосейсмическим вибратором или импульсное возбуждение падающим грузом или управляемым взрывом. При этом следует определить, какую коррекцию полученной передаточной функции потребует внести различие в искусственном и реальном источнике вибрации (в частности, может оказаться необходимым рассматривать рельсовый путь как распределенный, а не сосредоточенный источник вибрации). Полезным может оказаться использование физических моделей в уменьшенном масштабе.

Параметрические модели могут допускать численное или аналитическое решение. Эмпирические модели используют данные полевых экспериментов в сочетании с методами интерполяции. Параметричес-

кие модели так же, как и некоторые эмпирические, являются детерминированными, дающими на выходе единственное значение прогнозируемой величины для данного набора входных значений. Поскольку точность, обеспечиваемая моделью данного типа, зависит от точного знания входных данных, при построении прогноза не следует полагаться на единственный набор входных значений, если нет достаточной уверенности в их правильности. Необходимо оценить эффект варьирования параметров в заданных пределах. Значения параметров должны быть либо технически обоснованы, либо получены применением метода оценки рисков.

С особой осторожностью следует применять модель в условиях, отличающихся от тех, при которых модель была калибрована и проверена. Неопределенность экстраполяции прямо зависит от значения экстраполируемой величины.

Необходимо определить последствия включения в рассмотрение транспортного средства (введение возбуждения в виде переходного процесса на заданном интервале времени, соответствующем прохождению транспортным средством участка пути).

9.2 Параметрические модели

9.2.1 Общий анализ

Должна быть определена размерность пространства (одно-, двух- или трехмерное), описываемого моделью, с учетом необходимой точности на данном этапе проектирования.

Важно, чтобы модель адекватно описывала строение грунта (в частности, положение грунтовых вод), вносимый грунтом коэффициент потерь, плотность грунта и скорость, с которой в нем распространяются волны. В частности, для описания малых деформаций грунта, имеющих место при распространении вибрации, может быть использовано значение модуля сдвига, полученное в результате геотехнических изысканий.

Характеристики грунта могут быть получены по результатам измерений скорости распространения волн, выполненных, по возможности, на разной глубине и для разной степени водонасыщения. Не следует для получения значения модуля сдвига использовать результаты измерений в статическом режиме.

К использованию значений характеристик грунта из литературных источников следует подходить с осторожностью, поскольку они могут не в полной степени соответствовать реальным условиям на месте.

9.2.2 Аналитические решения

Аналитические решения связаны с неизбежными упрощениями. При этом необходимо учитывать следующее:

a) должны быть точно установлены все ограничения, в том числе по диапазону частот и типу распространяющихся волн;

b) прогноз, сделанный для волн только одного типа, может содержать значительные ошибки. Например, на дальнем расстоянии от туннеля глубокого заложения при однородном грунте доминирующими могут быть волны сжатия, в то время как на ближних расстояниях существенное значение могут иметь сдвиговые волны. Кроме того, может наблюдаться взаимное преобразование сдвиговых волн и волн сжатия друг в друга, а также в волны Стоунли, Лэмба и Лява, особенно на границах сред, а также в волны Рэлея на земной поверхности;

c) при определении коэффициента потерь следует учитывать его зависимость от частоты;

d) следует правильно определить элемент модели, описывающий источник вибрации. Для железнодорожных туннелей в качестве такого источника рекомендуется принимать балластный слой рельсового пути, хотя зачастую проведение в нем измерений может быть затруднено. Можно вместо этого проводить измерения вибрации стен туннеля, но только в случае, если имеется подтверждение, что уровень этой вибрации близок к уровню вибрации в балластном слое. Для наземного пути в качестве элемента модели, описывающего источник, может быть взят уровень вибрации на земной поверхности на заданном расстоянии от рельсового пути.

В случае пористого грунта использование аналитических методов возможно (если свойства такого грунта хорошо известны), но требуют применения сложных математических преобразований.

9.2.3 Численные решения

9.2.3.1 Общие положения

Численные методы решения могут быть использованы для прогноза производимой вибрации и описания ее распространения при наличии достаточной информации о свойствах системы. Численные решения могут быть получены на основе метода конечных элементов, метода конечных разностей либо метода граничных элементов. При использовании любого из указанных методов необходимо оценить, какое влияние на получаемое решение оказывает дискретизация по времени и пространству.

9.2.3.2 Метод конечных элементов

В методе конечных элементов среду представляют в виде совокупности элементов, а решение находят посредством итеративной процедуры, получая значения функций на границах элементов. Можно использовать существующие программные реализации метода, но при этом следует обращать внимание на точное представление:

- элементов на границах между туннелем и грунтом и между грунтом и фундаментом конструкции;
- функции возбуждения, описывающей взаимодействие колеса с рельсом, особенно если эта функция изменяется во времени и пространстве.

При использовании метода конечных элементов важно правильно выбрать элементы на границах сред, чтобы исключить влияние на получаемое решение переотраженных волн.

9.2.3.3 Метод конечных разностей

Аналитические дифференциальные уравнения могут быть заменены уравнениями в конечных разностях для получения численных решений волновых уравнений. Метод конечных разностей включает в себя дискретизацию динамической системы и пошаговое вычисление изменений во времени состояний точек среды.

9.2.3.4 Метод граничных элементов

Метод граничных элементов удобно применять в том случае, когда известна функция Грина.

Метод граничных элементов является альтернативой методу конечных элементов и требует задания элементов только на границе. В конкретной задаче распространения вибрации в грунте этот метод особенно удобен, поскольку допускает моделирование грунта полубесконечной средой и не требует учета переотражений, как это имеет место в методе конечных элементов.

9.2.4 Гибридные модели

Метод граничных элементов может быть использован в сочетании с методами конечных элементов и конечных разностей. Если методом конечных разностей удобно получать решение для колебаний источника, то метод граничных элементов служит для получения решений (с небольшой затратой вычислительных ресурсов) относительно колебаний точек среды на пути распространения вибрации от источника к объекту воздействия.

Если метод конечных элементов и метод конечных разностей требуют тщательного рассмотрения, какое влияние на точность решений оказывают отражения от границ, то метод граничных элементов свободен от этого недостатка.

9.3 Эмпирические модели

9.3.1 Общие положения

Эмпирические модели целиком основаны на результатах измерений и представляют собой форму интерполяции или экстраполяции полученных данных.

Для экстраполяции данных используют коэффициент усиления или модуль передаточной функции, но при этом необходимо провести анализ физической сути получаемых результатов.

9.3.2 Типы эмпирических моделей

Эмпирические модели принципиально подразделяют:

a) на локальные модели. Результаты измерений на ограниченном участке распространяют на другие участки. Вид экстраполирующей функции получают аналитическим методом, из других баз данных или экспертным путем;

b) на глобальные модели. Прогностическую модель (набор детерминистических алгоритмов) получают построением линий регрессии или выделением трендов на основе большого числа измерений, проведенных на разных участках, где основные характеристики системы (см. приложение А) имеют разное значение.

Локальные модели следует применять при проведении исследований на единственном участке, например для оценки требований по ослаблению вибрации в том месте, где будет построено здание. В случае проектирования нового участка рельсовых коммуникаций следует использовать глобальную модель, чтобы учесть возможные изменения характеристик вдоль исследуемой части пути.

Число участков, на которых следует проводить сбор данных, должно быть выбрано с учетом:

- длины исследуемой части рельсового пути (чем длиннее путь, тем больше участков измерений);
- числа существенных характеристик, для которых наблюдаются значительные различия в значениях от участка к участку. Если такие различия наблюдаются для всех существенных характеристик, число участков измерений будет максимальным.

Число участков измерений в глобальной модели зависит не только от числа характеристик, значения которых изменяются от участка к участку, но и от того, насколько велики эти изменения. При определении мест измерений по мере удаления от рельсового пути и вдоль этого пути учитывают такие параметры, как расстояние, глубина туннеля, характеристики грунта.

Для любой из вышеуказанных моделей число измерений на участке должно быть достаточным, чтобы представлять всевозможные сочетания типов транспортных средств, транспортных средств данного типа и рельсовых путей.

9.3.3 Виды эмпирических моделей

Основной вид любой модели приведен в 8.1. Эмпирические модели требуют упрощенного физического рассмотрения. Допустимая степень упрощения зависит:

- от вариативности результатов измерений и участков, для которых проводят измерения и оценку;
- от этапа оценивания (см. 8.2).

Основное упрощение, которое может быть внесено в эмпирическую модель, — допущение несвязанности элементов системы. Комбинационные составляющие добавляют, если между двумя параметрами существует сильное взаимодействие, на этапе, например, рабочего проекта, где к точности прогноза предъявляют повышенные требования.

Например, основным видом эмпирической модели распространения вибрации через грунт для параметра вибрации $A(f)$ в предположении несвязанности элементов будет

$$A(f) = S(f) \cdot P(f) \cdot R(f), \qquad (1)$$

где $S(f) = S_{\mathrm{SRef}} \cdot S'_{\mathrm{RSt}} \cdot S'_{\mathrm{Rail}} \cdot S'_{\mathrm{TF}} \cdot S'_{\mathrm{SupIn}} \cdot S'_{\mathrm{Speed}} \cdot \ldots;$

$P(f) = P'_{\mathrm{SupIn}} \cdot P'_{\mathrm{PP}} \cdot \ldots;$

$R(f) = R'_{\mathrm{G}} \cdot R'_{\mathrm{Struct}} \cdot \ldots;$

f — частота;

надстрочный индекс «′» означает, что данный элемент модели является поправкой на соответствующие условия;

подстрочный индекс обозначает исходное значение для источника (SRef) и условия, на которые делают поправки: подвижной состав (RSt), вид рельсового пути (TF), вид основания полотна (SupIn), путь распространения (PP), тип грунта (G) и тип конструкции (Struct), являющейся объектом воздействия.

Основным видом эмпирической модели для переизлученного шума в том же предположении несвязанности элементов, записанная для уровня $L(f)$ в децибелах (дБ) с используемым опорным значением 20 мкПа, будет

$$\overline{L}(f) = \overline{S}(f) + \overline{P}(f) + \overline{R}(f), \qquad (2)$$

где $\overline{S}(f) = \overline{S}_{\mathrm{SRef}} + \Delta\overline{S}_{\mathrm{RSt}} + \Delta\overline{S}_{\mathrm{Rail}} + \Delta\overline{S}_{\mathrm{TF}} + \Delta\overline{S}_{\mathrm{SupIn}} + \Delta\overline{S}_{\mathrm{Speed}} + \ldots;$

$\overline{P}(f) = \Delta\overline{P}_{\mathrm{SupIn}} + \Delta\overline{P}_{\mathrm{PP}} + \ldots;$

$\overline{R}(f) = \Delta\overline{R}_{\mathrm{G}} + \Delta\overline{R}_{\mathrm{Struct}} + \Delta\overline{R}_{\mathrm{Rad}} + \ldots;$

f — частота;

надстрочный индекс «⁻» означает, что данный параметр измеряют в децибелах;

подстрочные индексы имеют тот же смысл, что и в уравнении (1), а дополнительный индекс (Rad) обозначает поправку на условия излучения.

Если вибрацию также выражают в децибелах, должно быть указано опорное значение. Для локальной модели каждый параметр уравнения (1) или (2) должен быть получен либо теоретически, либо путем измерений.

9.4 Полуэмпирические модели

Полуэмпирические модели представляют собой сочетание параметрических моделей (см. 9.2) и эмпирических моделей (см. 9.3). В этом случае один или несколько элементов эмпирической модели заменяют аналитическими выражениями или результатами измерений при частично выполненных строительных работах (например, используют геосейсмический вибратор в полностью построенном туннеле, но без проложенных в нем рельсовых путей для оценки вносимого усиления на пути до объекта воздействия). Такой

подход часто применяют при модификации модели, построенной на этапе инженерных изысканий, до уровня, соответствующего этапу рабочего проекта. Обычно уточнению подлежат элементы, связанные с источником вибрации (туннель, конструкция рельсового пути, тип подвижного состава) и объектом воздействия (фундамент, конструкция здания).

Полуэмпирические модели подтверждают статистическую достоверность эмпирических данных, чтобы использовать их совместно с аналитическими методами на стадии рабочего проекта.

10 Разработка, калибровка, тестирование и проверка модели

Измерения, проводимые при разработке модели, а также для ее калибровки и тестирования, должны быть выполнены в тех условиях, для которых определены показатели, получение значений которых является целью работы модели.

Следует иметь в виду, что оценка вибрации, распространяемой через грунт, и переизлученного шума сопровождается отсутствием информации о многих важных факторах, поэтому неопределенность такой оценки может быть значительной. Для определения применимости построенной модели необходимо оценить точность получаемых с ее помощью прогнозов. Эта точность меняется в зависимости от этапа разработки (см. 8.2). Чем дальше продвигается разработка, тем выше требования к точности (см. рисунок 5). Знание точности оценок, получаемых с применением данной модели, является необходимым для управления рисками в процессе проектирования и строительства рельсовых коммуникаций.

Примечание — Некоторые рекомендации по построению, калибровке и проверке модели приведены в приложении С.

Ниже описана общая процедура, посредством которой можно получить количественную оценку точности модели.

Точность модели оценивают сравнением с результатами измерений, не использованными при построении модели. Кроме того, для заданных условий испытаний можно сравнить оценки, полученные с помощью данной модели и другой модели, уже прошедшей процедуру проверки. При этом следует тщательно зафиксировать расхождения в допущениях, при которых построены модели, и входных условиях. Предположения о виде входного воздействия и параметры этого воздействия должны быть зарегистрированы.

Стадии разработки и калибровки модели предшествуют стадии ее тестирования.

На стадии разработки модель проходит несколько этапов итерации, посредством которых добиваются улучшения согласия между выходными данными модели и результатами измерений или условиями испытаний. Для сложных моделей, предназначенных обеспечить высокую точность прогноза, в процессе разработки рассматривают каждый ее элемент (источник, путь распространения, объект воздействия) и каждый существенный параметр (скорость движения подвижного состава, расстояние от рельсового пути). Изменения, вносимые в модель, должны, по возможности, базироваться на понимании лежащих в их основе физических закономерностей. Метод сравнения можно осуществить с использованием геосейсмического вибратора, создающего заданные деформации на заданных частотах, при условии допустимости замены протяженного источника возбуждения точечным.

Повышение точности прогноза для конкретного участка местности можно оценить по результатам измерений на этом участке (например, при прохождении поездов, использовании геосейсмического вибратора на поверхности или других источников возбуждения, помещаемых в наклонную скважину), внося соответствующие поправки, отражающие различие между искусственными и реальными источниками вибрации. После разработки модели необходимо провести ее калибровку, т.е. градуировать ее таким образом, чтобы расхождение между выходными данными модели и результатами измерений было минимальным. Вид градуировочной функции должен быть зарегистрирован.

Последним этапом работы с моделью является ее тестирование. В процессе тестирования сравнивают прогнозные значения, генерируемые моделью, с результатами измерений, полученными при функционировании рельсовых коммуникаций. Эти измерения не должны включать в себя измерения, проведенные на этапе калибровки. По результатам тестирования оценивают неопределенность прогнозирования с применением данной модели (см. приложение С).

Построенную модель обычно реализуют в виде компьютерной программы. Перед использованием в реальных условиях эксплуатации модель должна быть проверена на адекватность получаемых результатов. Обычно такая проверка состоит в сравнении результатов работы программы и ручных расчетов для заданных условий. В ходе проверки оценивают также стабильность работы программы, задавая значения переменных во всем диапазоне их изменения.

Приложение А
(рекомендуемое)

Характеристики, принимаемые во внимание при проектировании и измерениях

А.1 Общие положения

В настоящем приложении приведен перечень характеристик, которые необходимо рассматривать при прогнозировании параметров передаваемой вибрации и переизлученного шума. Эти характеристики различаются по степени влияния на точность прогноза, и для конкретных ситуаций некоторые из них могут оказаться несущественными. Выбор, какие характеристики учитывать, а какие нет, в каждой конкретной ситуации остается за экспертом.

В настоящем приложении рассмотрены характеристики источника вибрации, пути распространения и объекта воздействия. Место характеристики в приведенном перечне не соответствует степени ее значимости.

Характеристики могут представлять собой константы или быть функциями частоты, деформации, нагрузки, температуры и т. д. Для них могут быть установлены доверительные границы либо из физических соображений, либо на основе статистики наблюдений.

А.2 Источник вибрации

А.2.1 Геометрия рельсового пути

Геометрию рельсового пути характеризуют:

a) координаты по горизонтали и вертикали;

b) уровень (по поверхности земли, в выемке, по насыпи);

c) наличие искусственных опорных конструкций (эстакад);

d) наличие туннелей.

А.2.2 Подвижной состав

Подвижной состав характеризуют:

a) его длина;

b) профиль колеса;

c) диаметр колеса;

d) неровности и дефекты поверхности катания колеса;

e) система подвешивания колес;

f) наличие колес с упругими элементами, которые характеризуют:
- масса обода,
- динамическая жесткость;

g) неподрессоренная масса:
- колеса,
- оси,
- другие элементы (тормозные диски, двигатели на оси колесной пары, редукторы);

h) первая ступень рессорного подвешивания:
- жесткость,
- демпфирование (вязкое, гистерезисное, сухое трение);

i) подрессоренная масса:
- рама тележки,
- элементы передачи тягового двигателя,
- двигатели на тележке колесной пары;

j) вторая ступень рессорного подвешивания:
- жесткость (балок рамы тележки, элементов передачи тягового двигателя),
- демпфирование,
- масса кузова;

k) общая масса на ось (сумма неподрессоренной массы и масс, подрессоренных первой и второй ступенями подвешивания) при наличии и отсутствии груза;

l) нагрузка на ось (статическая, динамическая);

m) моменты инерции и формы изгибных колебаний колес и осей;

n) число осей и база тележки;

o) формы изгибных колебаний кузова.

А.2.3 Рельсы

Характеристиками рельсов являются:

a) их расположение в пространстве (наличие закруглений, высота расположения);

b) ширина колеи;

c) неровности рельсового пути (состояние рельсов, нерегулярности пути);

d) форма сечения рельса, марка стали;

e) наличие стрелочных переводов, глухих пересечений, стыков, сварных соединений;

f) периодичность нагрузки (параметрическое возбуждение) в зависимости от изменения жесткости основания рельсового пути и базы тележки (функция скорости транспортного средства);

g) поперечные нагрузки [недостаточное превышение наружного рельса на закругленном участке пути, осциллирующие силы на закруглениях малого радиуса (воспринимаются на слух как визг колес), контакт рельса с гребнем колеса];

h) жесткость пятна контакта в вертикальном направлении;

i) применяемые модификаторы трения (смазки).

А.2.4 Элементы рельсового пути

Элементы рельсового пути характеризуют:

a) допустимая нагрузка в рельсовых скреплениях;

b) конструкция рельсового пути, которая может содержать следующие элементы:

- полноповерхностную опору рельсового пути,
- заглубленные рельсы с непрерывным опиранием,
- шпалы,
- другие разрывы в опирании,
- балластный слой,
- бетонные блоки, шпалы в упругой оболочке,
- упругие подушки под шпалы,
- подбалластные упругие настилы,
- бетонное основание,
- плавающие плиты,
- токосъемные устройства (для электрифицированных рельсовых путей);

c) статическая, динамическая, акустическая жесткость упругих элементов.

А.2.5 Основание рельсового пути

А.2.5.1 По поверхности земли

Рассматривают, уложен ли рельсовый путь в выемке или на насыпи (грунтовой или из пенополистирола), наличие фундаментных балок, свай, укреплений грунта (например, известково-цементным раствором, грунтовыми гвоздями, арматурной сеткой), поверхностного гудронирования, бетонных плит, пучинных мест, а также грунтовые условия.

А.2.5.2 На эстакаде

Рассматривают:

a) строительный материал: сталь (сварные, болтовые или клепаные соединения), бетон (заливка на месте или сборный), композитный материал (сталь-бетон), дерево;

b) подвижность мостового полотна (комплексная);

c) собственные частоты, коэффициент демпфирования;

d) взаимодействие с грунтом (тип фундамента, тип грунта);

e) проведенные модификации (например, удаление балласта при замене пути).

Примечание — Факторы, влияющие на излучение шума эстакадой (хотя он может оказывать существенное воздействие на окружающую среду), не рассматривают.

А.2.5.3 В туннеле

Рассматривают:

a) тип туннеля и место его расположения;

b) глубину заложения;

c) форму;

d) используемую облицовку;

e) вид фундамента (обратного свода);

f) близлежащий грунт с возможными уплотнениями (например, заливкой цементным раствором) и сооружения;

g) наличие пустот в грунте;

h) наличие ослабленных элементов крепления.

А.2.6 Строительные допуски

Рассматривают допуски в отношении:

a) жесткости упругих элементов;

b) геометрии опоры;

c) изменений параметров со временем;

d) наличия трещин.

А.2.7 Рабочие параметры

Общей характеристикой рельсовых коммуникаций являются:

a) скорость движения транспортных средств;

b) трафик (расписание).

А.2.8 Техническое обслуживание и ремонт

Рассматривают, как техническое обслуживание и ремонт влияют:

a) на геометрию пути;

b) на состояние бандажей колес (обточка);

c) на состояние поверхностей:

- наличие выбоин,
- изменение (ухудшение) свойств материала;

d) на защиту от пробуксовки колес;

e) на состояние балластного слоя и плит;

f) на другие факторы, связанные с техническим обслуживанием.

А.3 Путь распространения

А.3.1 Грунт

Грунт характеризуют:

a) геологический профиль местности (слоистость, наклон слоев, границы слоев);

b) топографические особенности:

- форма земной поверхности,
- форма, размер и местоположение сооружений,
- наличие углублений;

c) уровень грунтовых вод;

d) динамические свойства грунта (осушенного и неосушенного) для малых деформаций:

- модуль сдвига,
- коэффициент Пуассона,
- плотность,
- скорости волн сдвига и сжатия,
- коэффициент потерь и вид демпфирования (вязкое или гистерезисное);

e) неоднородности:

- техногенной природы (трубы, дороги, другие туннели, грунтовые якоря, сваи, углубленные фундаменты, земляные работы),
- естественной природы (сдвиг породы, трещиноватость, пустоты, слоистость, анизотропия, включения, свободная поверхность),
- средства ослабления передаваемой вибрации (например, экранирующие стенки);

f) сезонные особенности (промерзающий грунт, изменение свойств грунта и содержания влаги).

А.3.2 Волновое поле

Волновое поле в грунте характеризуют:

a) типы волн, их преобразования, отражения, дифракция;

b) угол входа волны;

c) область ближнего поля;

d) область дальнего поля;

e) ось распространения (результирующая или продольная, поперечная, вертикальная);

f) диаграмма направленности;

g) геометрическое демпфирование.

А.4 Объект воздействия

А.4.1 Сооружение

Сооружения характеризуют:

a) применяемые показатели для оценки вибрационного воздействия;.

b) тип фундамента (сплошной, свайный, с виброизоляцией и т. д., материал, из которого изготовлен фундамент, отклик фундамента на волны разных типов);

c) геометрия фундамента;

d) динамические свойства близлежащего грунта;

e) влияние местных земляных работ;

f) нулевая отметка (расстояния, оси);

g) взаимодействие сооружения с грунтом;

h) материал сооружения:

- бетон,
- кирпич,
- дерево,
- сталь;

i) состояние сооружения;

j) междуэтажные перекрытия (без промежуточных опор, с опиранием на грунт):

- геометрия и материалы,
- жесткость, масса, демпфирование,
- живая нагрузка;

k) собственные частоты и коэффициент демпфирования конструкции;

l) прогнозируемые параметры вибрации с учетом воздействия на конструкцию, людей, чувствительное оборудование;

m) точки конструкции, для которых рассчитывают прогнозируемые параметры вибрации;

n) заполненность сооружения (масса);

o) уровни фоновой вибрации (от работающего оборудования, автомобильного движения, перемещения людей);

p) визуальные или слуховые эффекты воздействия вибрации.

Для плавательных бассейнов рассматривают также прогнозируемый шум под водой.

А.4.2 Переизлученный шум

В отношении переизлученного шума рассматривают:

a) отличие от акустического шума, шум, воспринимаемый через ушные кости человеком, лежащим на подушке;

b) показатель, характеризующий воздействие переизлученного шума;

c) точки внутри здания, где оценивают шум;

d) точки внутри помещения, где оценивают шум;

e) излучательную способность элементов конструкции здания;

f) акустику помещения:

- время реверберации (в зависимости от заполненности),
- размеры помещения и уровни расположения предметов в нем,
- фоновый шум;

g) наличие дребезжащих предметов, создающих высокочастотный шум.

Приложение В
(справочное)

Ослабление передаваемой вибрации и переизлученного шума

В.1 Введение

Переизлученный шум и вибрация от рельсовых транспортных средств могут быть ослаблены разными способами:

a) в источнике. Принципиально этого достигают через изменения (в порядке возрастания эффективности):
- геометрии пути (горизонтальной и вертикальной),
- конструкции пути,
- качества рельсов и их обслуживания,
- конструкции подвижного состава и его обслуживания,
- конструкции опоры пути (земляного полотна, эстакады, туннеля).

Примечания

1 Переизлученный шум может возникать от туннельных участков рельсового пути (или некоторых сооружений на поверхности, которые существенно ослабляют первичный воздушный шум, усиливая переизлученный шум).

2 Снижение первичного шума от эстакады в настоящем стандарте не рассматривается;

b) на пути распространения (траншеями или бетонными стенками на пути распространения от источника к объекту воздействия);

c) в объекте воздействия. Для вновь возводимых сооружений этого обычно достигают виброизоляцией фундамента или пространств внутри здания (что наиболее эффективно при защите от переизлученного шума). Вибрация может также быть ослаблена, например, демпфированием или соответствующим изменением конструкции междуэтажных перекрытий. Для уже возведенных зданий применение мер снижения вибрации обычно неэффективно с практической точки зрения.

Снижение вибрации в источнике — самый эффективный способ борьбы с ней. Однако это всегда связано с основными вопросами проектирования или функционирования рельсовых коммуникаций. Применяемые меры по снижению вибрации не должны нарушать безопасность эксплуатации рельсового пути, ухудшать его рабочие характеристики, ограничивать возможность технического обслуживания и надежность в эксплуатации, принципиально ухудшать экономические показатели его использования.

Вышеуказанные ограничения на меры снижения вибрации в источнике рассмотрены в В.2. Природа и форма этих ограничений различны для разных типов рельсовых путей (например, трамвайных и предназначенных для движения скоростных поездов) и эксплуатирующих организаций. Поэтому важно, чтобы меры по ослаблению передаваемой через грунт вибрации и переизлученного шума являлись составной частью проекта рельсовых коммуникаций и чтобы этот проект имел надежное инженерное обоснование с учетом общих принципов эксплуатации рельсовых путей.

В.2 Ослабление вибрации в источнике

В.2.1 Действующие рельсовые коммуникации

Перечень средств ослабления вибрации и переизлученного шума от эксплуатируемого рельсового пути ограничен. Причиной является то, что геометрия такого пути уже определена, а использование другой, более упругой опоры для верхнего строения пути или добавление жесткости и массивности основанию (например, с помощью бетонных блоков или известковых свай, уменьшающих вибрацию на низких частотах) требует прерывания на длительный срок движения составов для проведения соответствующих строительных работ. Это существенно затрагивает интересы как пассажиров, так и организаций, связанных с эксплуатацией рельсовых коммуникаций, и может быть реализовано только в ходе выполнения общей программы по их модернизации.

Поэтому для действующих рельсовых коммуникаций меры по снижению передаваемой вибрации и переизлученного шума обычно ограничены рамками технического обслуживания. При этом особое внимание уделяют обеспечению гладкости поверхностей контакта рельсов и колес. Для этого применяют следующие основные виды обслуживания:

a) шлифование рельсов. Эту операцию выполняют для обеспечения плоскостности поверхности катания рельса на участке, размеры которого соответствуют характерным длинам волн распространения вибрации в грунте для заданных скоростей движения состава. Однако у данного метода есть ограничения, связанные с необходимостью обеспечить достаточные значения сил тяги и торможения. Надежное ослабление шума и вибрации может быть достигнуто только при регулярном выполнении операций шлифования или полирования;

b) устранение стыков в рельсах. Для этого проводят заваривание рельсовых стыков. Ограничения данного метода связаны с необходимостью обеспечить запас по температурному расширению рельсов и с проблемами для безопасности и здоровья рабочих, если сварочные работы необходимо выполнять внутри туннелей;

c) обслуживание стрелочных переводов и глухих пересечений. Периодическая регулировка стрелочных переводов и глухих пересечений позволяет уменьшить перемещение рельсов;

d) обточка и шлифование колес. Результаты этой операции аналогичны достигаемым посредством шлифования рельсов;

e) выравнивание рельсов. В случае движения высокоскоростных поездов улучшение прямолинейности рельсового пути способно уменьшить вибрацию на низких частотах.

Примечания

1 Шлифование, выполняемое для снижения степени износа рельсов и повышения комфорта пассажиров, не всегда обеспечивает плоскостность поверхности катания рельса на всех длинах волн, представляющих интерес с точки зрения распространяемой через грунт вибрации. В настоящее время накоплено недостаточно данных для сопоставления характерных размеров неровностей рельсов с распространяющейся вибрацией, поскольку, исторически, при измерениях неровностей внимание обращали, в первую очередь, на участки большей (для оценки степени износа рельсов и комфорта пассажиров) и меньшей (для оценки излучаемого первичного шума) протяженности.

2 Влияние стыков на стрелках и глухих пересечениях может быть уменьшено установкой стрелок специальной конструкции. Использование стрелочных переводов с опиранием колеса на гребень позволяет уменьшить до необходимых пределов вибрацию от городского рельсового транспорта.

В крайних обстоятельствах возможно применение временных мер, связанных со снижением скорости движения на некоторых участках пути, с одновременной разработкой и осуществлением способов долгосрочного снижения вибрации. Однако, в общем, уменьшение скорости движения нельзя рассматривать как эффективное средство снижения передаваемой вибрации. В действительности из-за нелинейного соотношения между скоростью и параметрами вибрации с уменьшением скорости вибрация может даже возрасти. Следует соотносить выгоду от снижения передаваемой вибрации с другими факторами, например претензиями пассажиров относительно увеличения времени их нахождения в пути (см. также В.2.2.4).

В.2.2 Новые рельсовые коммуникации

В.2.2.1 Геометрия пути

Эффективным способом ослабления вибрации является отнесение рельсового пути от объектов, особенно чувствительных к динамическим воздействиям.

Однако применение данного способа ограничено, поскольку, чтобы обеспечить комфорт пассажиров и допустимые темпы износа элементов пути и поезда, кривизна пути (в горизонтальном и вертикальном направлениях), градиент кривизны (в горизонтальном и вертикальном направлениях) и вертикальный градиент не должны превышать некоторых предельных значений.

Указанные ограничения варьируются в зависимости от вида рельсовых коммуникаций. Чем выше скорость движения транспортного средства, тем большие ограничения налагаются на его геометрию.

В.2.2.2 Конструкция рельсового пути

Применение бесстыковых сварных рельсов устраняет импульсную составляющую шума и вибрации, связанную с прохождением стыков, и может быть рассматрено как средство, улучшающее общий характер шума и вибрации.

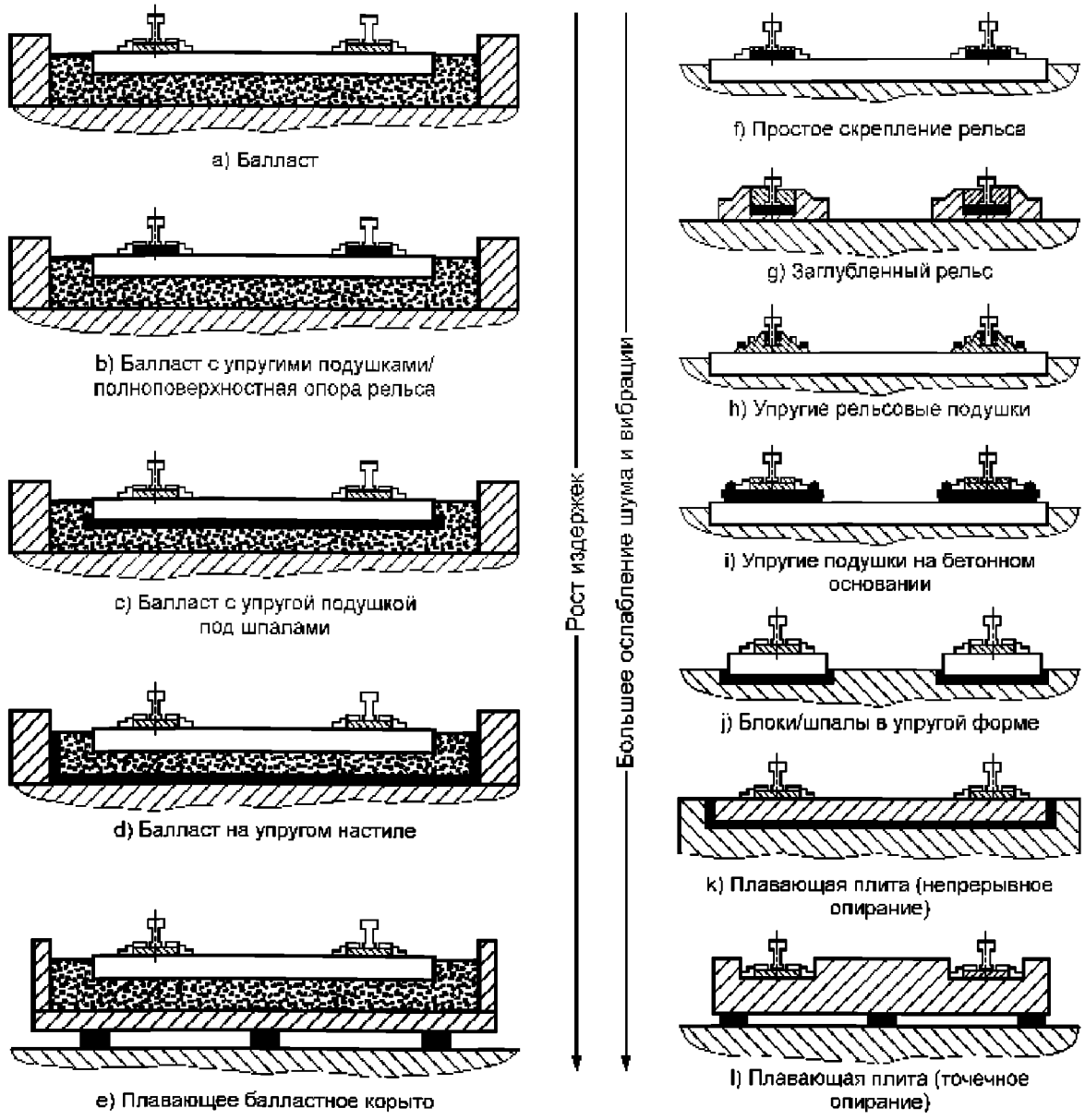
Помимо выбора типа рельсов и поддержания в надлежащем состоянии поверхности катания ослабление передаваемой через грунт вибрации достигается увеличением динамической упругости пути в вертикальном направлении или, по крайней мере, повышением массы верхнего строения пути при заданной упругости. Безотносительно к проблемам шума и вибрации, достаточная упругость пути необходима для обеспечения комфорта пассажиров и уменьшения износа элементов подвижного состава и пути. Однако слишком большая упругость также нежелательна по тем же самым причинам.

Следует отметить, что в конструкции рельсового пути нет элементов, способных в значительной мере поглощать или рассеивать энергию (за исключением балластного слоя). Влияние конструкции верхнего строения пути состоит в том, что вибрационная энергия по-разному передается на разные участки основания. Поэтому необходимо убедиться, что меры по ослаблению, например, переизлученного шума, связанные с конструкцией пути, не приведут, напротив, к его усилению или другим нежелательным эффектам, связанным с повышением вибрации или проблемами надежности, эксплуатационной готовности, ремонтопригодности и удобства обслуживания.

Это относится, в частности, к вибрации верхнего строения пути, которая обычно является существенной проблемой (если только рельсовый путь не проложен в глубокой выемке или не имеются в наличии шумовые заслоны). Использование упругих прокладок для рельсов с малой долей вероятности приведет к значительному снижению вибрации прилегающего грунта, если только это не сопровождается дополнительными мерами по увеличению жесткости земляного полотна (например, применением фундаментных плит, известковых свай или специальных методов его обработки).

Типичные конструкции рельсового пути могут быть охарактеризованы по их способности к ослаблению передаваемой через грунт вибрации и переизлученного шума, как показано на рисунке В.1. На этом рисунке приведены также схемы конструкций пути с указанием упругих элементов. При анализе мер ослабления передаваемой в грунт вибрации следует рассмотреть также возможность применения балластного слоя, связанного клеем или цементом, с одновременным применением упругих прокладок под рельсы. Такое решение более экономично, чем применение фундаментных плит или специальных методов обработки земляного полотна.

Необходимо учитывать то, что для каждой конструкции рельсового пути диапазон распространяемой вибрации и переизлученного шума может быть весьма широк. Например, при неправильно установленных или спроектированных плавающих плитах передаваемая вибрация может быть так же высока, как и для обычного пути с жестким креплением рельсов. Обратное, однако, несправедливо: для обычного пути нельзя добиться столь же высоких характеристик ослабления вибрации, как для правильно спроектированной системы с плавающими плитами. Поэтому пути разных типов могут быть упорядочены по возможности снижения передаваемой вибрации, как это показано на рисунке В.1. Но вся выгода от применения пути сложного типа может быть сведена на нет или существенно уменьшена при несоответствующем конструктивном исполнении.



Примечания

1 Основные упругие элементы конструкции выделены черным цветом.

2 Системы g) — j) обладают приблизительно одинаковой эффективностью по ослаблению вибрации (шума) с небольшими различиями в стоимости строительства

Рисунок В.1 — Типовые конструкции рельсового пути

Комбинация технических решений, используемых для ослабления передаваемой вибрации (переизлученного шума) в разных типовых конструкциях пути, не позволяет, как правило, увеличить это ослабление. Например, если упругое основание позволяет понизить уровень передаваемой вибрации (переизлученного шума) на 10 дБ,

а плавающая плита — на 20 дБ, то применение упругого основания поверх плавающей плиты не даст выигрыша в 30 дБ. В действительности, сочетание этих двух решений может дать значение ослабления даже меньшее, чем при применении одной только плавающей плиты.

Есть, однако, ситуации, когда типовые конструкции комбинируют для достижения других целей. Например, при том что рассмотренное выше совместное применение упругого основания и плавающей плиты может негативно сказаться на передаваемой вибрации (переизлученном шуме), это решение позволяет снизить вибрацию самой плавающей плиты и шума, излучаемого ею в воздух. Данное обстоятельство может быть важным в случаях, когда снижение излучаемого в воздух шума так же принципиально, как и уменьшение вибрации, передаваемой через грунт.

Хотя совершенствование конструкции рельсового пути является эффективным способом снижения передаваемой вибрации (переизлученного шума), это не является его основной целью. В первую очередь путь проектируют таким образом, чтобы решить вопросы безопасности, удобства пользования и экономической эффективности эксплуатации. Поэтому конструкцию пути рассматривают с позиции надежности, эксплуатационной готовности, ремонтопригодности и удобства обслуживания, а также экономической эффективности и пригодности для рельсового транспорта разных видов. В ряде случаев приоритетность вышеперечисленных задач негативным образом сказывается на возможности конструктивных решений по ослаблению передаваемой вибрации (переизлученного шума).

Факторами, требующими первоочередного рассмотрения при выборе конструкции пути, являются:

a) 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;

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

c) 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;

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

e) надежность;

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

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

Характеристики надежности, эксплуатационной готовности, ремонтопригодности и удобства обслуживания, определяемые проектирующей и эксплуатирующей организациями с учетом вышеперечисленных факторов, будут разными для разных путей. Характеристики безопасности и ходовых качеств должны быть предварительно проверены в процессе испытаний, прежде чем рельсовые коммуникации будут введены в эксплуатацию.

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 переизлученного шума. Поэтому необходимо, чтобы эти решения являлись составной частью комплексного проектирования новых рельсовых коммуникаций.

B.2.2.3 Конструкция транспортного средства

В отличие от воздушного шума всего несколько характеристик конструкции рельсового пути влияют на передаваемую вибрацию и переизлученный шум. Такими характеристиками являются:

a) жесткости первой и второй ступеней рессорного подвешивания (чем она меньше, тем лучше даже в отсутствие демпфирования);

b) неподрессоренная масса (оптимальное значение этой характеристики зависит от конструкции рельсового пути);

c) общая масса транспортного средства (чем меньше, тем лучше);

d) неровность поверхности катания колеса (по возможности должна быть уменьшена);

e) упругие элементы колес [применение колес с упругими элементами обычно улучшает виброизолирующие свойства системы упругой опоры рельсов (например, полноповерхностной опоры), но может ухудшить виброизолирующие свойства системы с плавающими плитами].

Все вышеуказанные характеристики (наряду с рассмотренными характеристиками конструкции пути) играют важную роль при оценке надежности, эксплуатационной готовности, ремонтопригодности и удобства обслуживания рельсовых коммуникаций, а также издержек их эксплуатации. Поэтому меры ослабления вибрации, которые следует рассматривать как составную часть в общем проектировании транспортного средства, часто

будут результатом компромиссного решения с учетом эксплуатационных требований к рельсовым коммуникациям. Наибольший эффект (с точки зрения передаваемой вибрации и переизлученного шума) может дать совместное проектирование рельсового пути и транспортного средства.

B.2.2.4 Скорость движения транспортного средства

Скорость движения транспортного средства — одна из важнейших характеристик с точки зрения выгоды эксплуатации рельсовых коммуникаций. Кроме того, изменение скорости движения обычно не является эффективным способом снижения вибрации. Поэтому регулирование скорости движения транспортного средства нельзя рассматривать в качестве типичного средства ослабления передаваемой вибрации и переизлученного шума.

B.3 Ослабление вибрации на пути ее распространения

Траншеи, вырытые на пути распространения вибрации от источника до объекта воздействия, обычно не решают проблему. Причиной этому служит большая длина волны распространения вибрации. Как следствие, эта волна дифрагирует на дне и стенках траншеи без существенной потери энергии в анализируемом диапазоне частот. Чтобы реально ослабить передаваемую вибрацию, траншея должна быть достаточно глубокой и соответствующих размеров по периметру, что не всегда возможно реализовать на практике.

Бетонные стенки и другие барьеры на пути распространения вибрации могут достигать большей глубины, чем траншеи, и перекрывать прямую видимость объекта воздействия из источника (также при условии соблюдения соответствующих требований к периметру барьера). Это позволяет в некоторой степени достигнуть ослабления вибрации, но только в области непосредственно за барьером, поскольку — как и в случае траншеи — длинноволновая вибрация дифрагирует на краях барьера.

B.4 Ослабление вибрации в объекте воздействия

Для ослабления вибрации в объекте воздействия можно принять следующие меры:

a) выполнить перепланировку (например, расположить строения подальше от источника вибрации, изменить положение автомобильных парковок и скверов в прилегающей зоне);

b) изменить землеотведение (например, перевести земли в коммерческое использование, где эффект воздействия вибрации будет менее заметен);

c) принять меры по отстройке резонансов перекрытий от доминирующих пиков в спектре вибрации;

d) использовать твердые несущие плиты на грунтовом основании вместо подвесных плит перекрытий (например, бунгало вместо двухэтажного жилого дома);

e) если полностью отстроиться от резонансов невозможно, перенести их в область частот, где они в меньшей степени воспринимаются человеком (обычно это область более высоких частот);

f) использовать перекрытия с низкими значениями собственных частот (однако для таких перекрытий более высок риск возбуждения вибрации из-за передвижения людей — см. ИСО 10137 [9]);

g) установить изоляторы между полом и бетонным основанием пола (плавающие перекрытия);

h) изолировать чувствительные области внутри помещений;

i) изолировать отдельные экземпляры оборудования, чувствительного к воздействию вибрации;

j) изменить динамическое поведение строительной конструкции (ввести динамическое поглощение вибрации там, где от нее невозможно отстроиться);

k) использовать формы конструкции с наилучшим демпфированием (например, бетонные конструкции вместо стальных);

l) увеличить демпфирование благодаря использованию связанных слоев;

m) закладывать фундамент здания в слоях грунта с меньшим уровнем вибрации, обеспечив его развязку от приповерхностного слоя (применяют в случае рельсовых путей, уложенных на уровне земли);

n) устанавливать чувствительное оборудование на фундаменте, уложенном глубоко в грунте и развязанном относительно конструкции здания и приповерхностного слоя (применяют в случае рельсовых путей, уложенных на уровне земли);

o) устанавливать чувствительное оборудование с опорой на грунт, а не подвесные перекрытия, чтобы избежать усиления вибрации на резонансных частотах перекрытий (хотя данные перекрытия, имея низкие частоты собственных колебаний, на высоких частотах выступают как пассивные изоляторы);

p) изолировать основание здания (особенно эффективно для ослабления переизлученного шума);

q) применять традиционные строительные материалы в конструкции таким образом, чтобы отклик конструкции был аналогичен отклику с использованием изоляции основания;

r) удлинять путь распространения вибрации с целью повысить демпфирование (например, подвешивая перекрытия к верхней точке колонн рамной конструкции вместо опирания на уровне расположения перекрытия);

s) использовать конструкции нерегулярной формы с разрывами;

t) утяжелить конструкцию сооружения;

u) повысить уровень фонового шума для маскировки переизлученного шума (при должном внимании к спектральному составу шумов и без ухудшения возможностей речевого общения);

v) использовать системы активного гашения вибрации с электромеханическими или гидравлическими исполнительными устройствами (на практике такое решение весьма дорого и может быть использовано только в особых случаях).

Приложение С
(справочное)

Методы и средства разработки, калибровки, тестирования и проверки модели

С.1 Введение

Построение модели включает в себя этапы разработки, калибровки и тестирования, а также проверки (верификации) на реальных объектах, каждый из которых важен для оценивания модели и повышения ее точности. В настоящем приложении приведены рекомендации, которые могут быть использованы при разработке методов оценивания модели и повышения ее точности.

Прежде всего должны быть точно определены показатели, используемые для оценки передаваемой вибрации и переизлученного шума, чтобы данные на выходе модели и результаты измерений могли быть отнесены к одним и тем же величинам и условиям получения их значений.

Модель следует использовать только для тех условий, для которых она была предназначена. Например, если при разработке модели было принято допущение о представлении грунта в виде полупространства, ее не следует использовать для грунта, имеющего слоистую структуру, а от модели, построенной на этапе предварительного проектирования, нельзя ожидать высокой точности при ее тестировании (см. разделы 8 и 9, где определены этапы проектирования и типы моделей).

С.2 Характеристики точности модели

Упрощенная процедура оценки точности схематично показана на рисунке С.1.

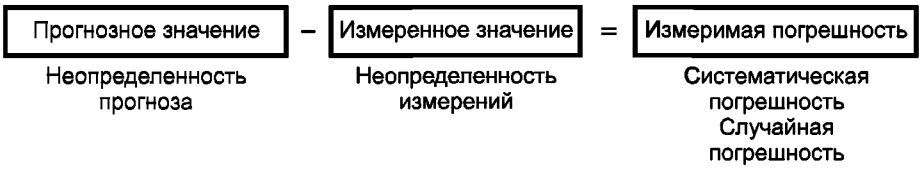


Рисунок С.1 — Параметры, характеризующие точность метода

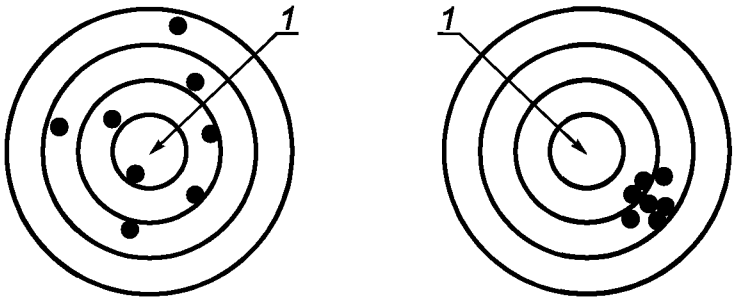
Под точностью понимают близость к истинному значению прогнозного (точность модели) или измеренного (точность метода измерений) значения. Истинное значение редко бывает известно, поэтому при оценке точности обычно проводят сопоставление прогнозных значений с результатами измерений.

Неопределенность прогнозного значения характеризует изменчивость выходных данных модели, что связано с изменчивостью входных данных. Неопределенность измерений характеризует изменчивость результатов измерений, связанную с изменчивостью условий измерений (например, измерения проводят при прохождении разных транспортных средств или для разных геологических условий).

Под измеримой погрешностью предложено понимать разность между прогнозным и измеренным значениями[1)]. Измеримая погрешность имеет две составляющие (см. ИСО 3534-1 [5] и GUM [25]):

- систематическую погрешность (характеризующую точность модели);
- случайную погрешность (связанную с погрешностями прогнозного и измеренного значений).

На рисунке С.2 показаны две типичные ситуации, когда преобладает та или иная составляющая измеримой погрешности.



a) Преобладает случайная погрешность

b) Преобладает систематическая погрешность

Рисунок С.2 — Две составляющие измеримой погрешности

[1)] Концепция «измерительной погрешности» предполагает, что систематическая погрешность измерений незначительна. В общем случае систематическая погрешность измерений также подлежит оценке.

С.3 Генеральная совокупность прогнозных значений и выборка результатов измерений

С.3.1 Общие положения

Для разработки и калибровки модели необходимо иметь пары прогнозных и измеренных значений. Несмотря на то, что на практике существует ряд ограничений (стоимость, время измерений), в идеале выборка данных должна позволить:

- охватить весь диапазон изменений значения каждого параметра (скорости движения, расстояния, типа грунта и т. д.), влияющего на результат прогноза;
- получить статистически устойчивые характеристики неопределенности прогнозного и измеренного значений.

Для выполнения указанных требований необходимы анализ чувствительности модели и выборка измерений большого объема.

С.3.2 Анализ чувствительности модели

Анализ чувствительности модели позволяет оценить влияние изменений одного или нескольких входных параметров, задание которых сопровождается собственной неопределенностью, на выходные данные модели.

Пример — Для некоторой переменной могут быть установлены три значения: минимальное, среднее и максимальное, после чего исследуют, как переход от одного значения к другому (при сохранении неизменными значений всех остальных существенных параметров) изменяет значение параметра на выходе модели.

Для оценки характеристик измеримой погрешности могут быть использованы методы, применяемые при оценке риска и в математической статистике, например метод Монте-Карло.

С.3.3 Разброс результатов измерений

Разброс результатов измерений обусловлен изменением условий их проведения. Оценить этот разброс можно по результатам множественных измерений при условии, что эти измерения выполнены с соблюдением следующих требований:

- обеспечение вариативности подвижного состава: измерения выполняют не менее чем для пяти образцов подвижного состава (во время их коммерческой эксплуатации) при движении по заданному пути;
- обеспечение вариативности рельсовых путей: измерения выполняют не менее чем для пяти образцов подвижного состава (во время их коммерческой эксплуатации) при движении по каждому пути.

Где это применимо, следует обеспечить также вариативность точек измерений. Измерения на заданном расстоянии от рельсового пути следует повторять не менее двух раз для разных точек вдоль пути, отстоящих друг от друга не менее чем на 10 м и не более чем на 100 м.

С.4 Разработка и калибровка модели

Наиболее эффективным средством определения коэффициентов модели для соответствующих параметров (скорость движения, расстояние от рельсового пути и др.) на стадиях разработки и калибровки является подгонка зависимостей таким образом, чтобы данные на выходе модели наилучшим образом совпадали с результатами измерений.

После применения данной процедуры к каждому параметру модели ее можно использовать для модели в целом.

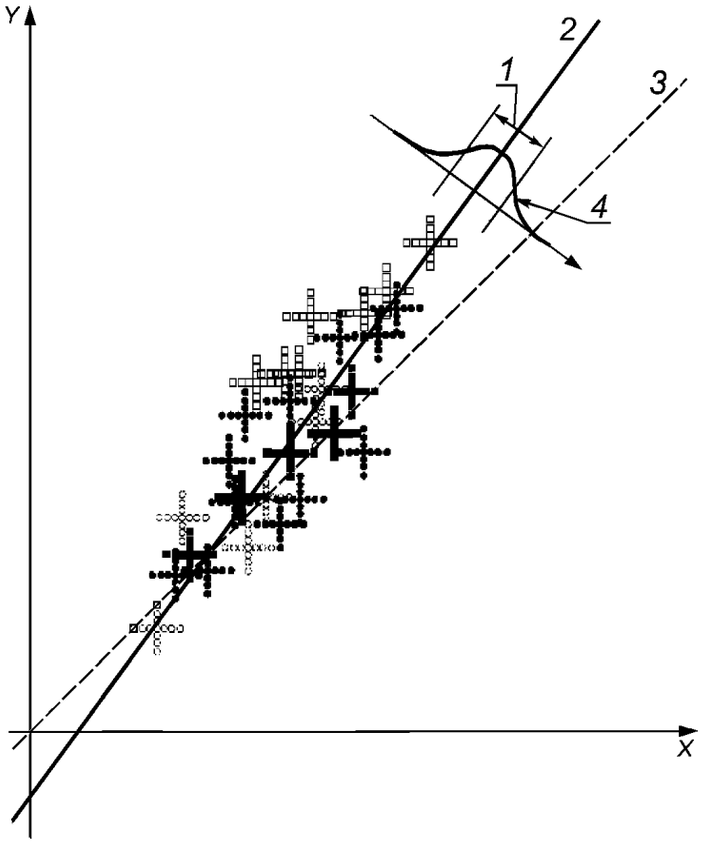
Основой для последующего анализа является построение градуировочной функции (не обязательно в виде прямой линии) на стадии калибровки. Один из примеров подгонки градуировочной функции представлен на рисунке С.3. После этого модель возвращают на стадию разработки и модифицируют таким образом, чтобы градуировочная функция имела вид прямой, проходящей через центр координат, с коэффициентом наклона, равным единице.

С.5 Тестирование модели

Для тестирования модели используют данные (пары прогнозных и измеренных значений), не применявшиеся на стадиях разработки и калибровки.

Простейшим видом тестирования является получение выборочных оценок среднего значения и стандартного отклонения измеримой погрешности по результатам обработки разностей прогнозных и измеренных значений, полученных для каждой из пар. Среднее значение и стандартное отклонение характеризуют систематическую и случайную составляющие измеримой погрешности соответственно. Указанный способ, однако, не позволяет выявить зависимость среднего значения и стандартного отклонения от прогнозного значения, что может быть важно при экстраполяции данных на области, не использованные при разработке модели.

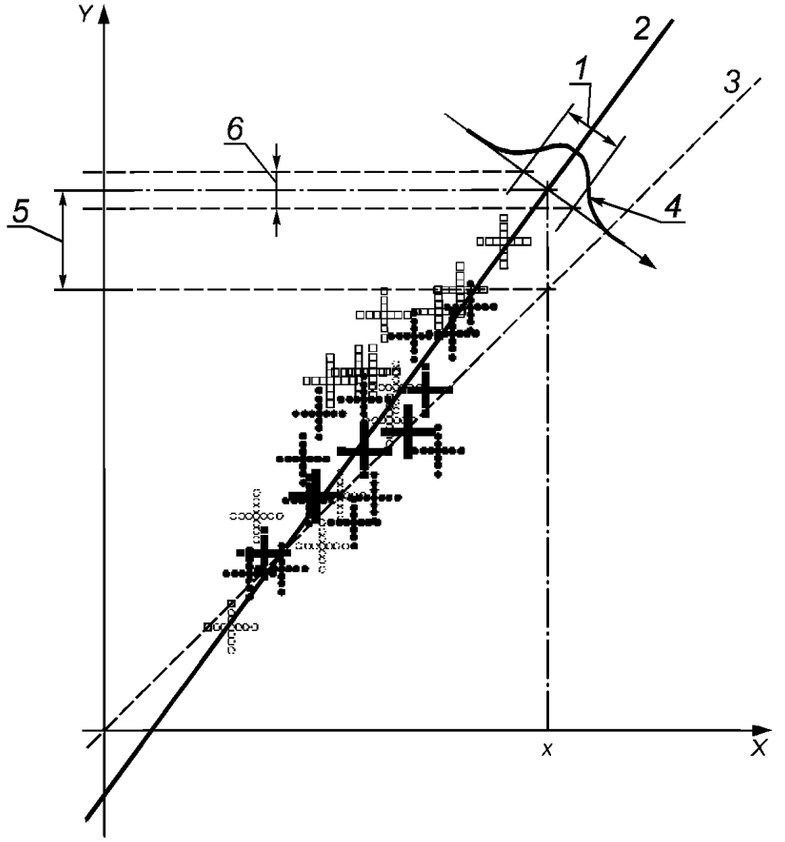
Отклонение свободного члена градуировочной прямой от нуля и коэффициента при линейном члене от единицы характеризуют систематическую погрешность, вносимую градуировочной кривой для данного значения аргумента (прогнозного значения) — см. рисунок С.4.



X — измеренное значение; *Y* — прогнозное значение; *1* — интервал, равный удвоенному стандартному отклонению; *2* — реальная градуировочная кривая; *3* — градуировочная кривая, полученная путем подгонки данных; *4* — статистическое распределение выборочных значений

Примечание — На графике показаны пары результатов измерений и прогнозов (с соответствующими доверительными интервалами) для четырех точек на местности.

Рисунок С.3 — Реальная и идеальная градуировочные кривые



X — измеренное значение; *Y* — прогнозное значение; *1* — интервал, равный удвоенному стандартному отклонению; *2* — реальная градуировочная кривая; *3* — градуировочная кривая, полученная путем подгонки данных; *4* — статистическое распределение выборочных значений; *5* — систематическая погрешность градуировочной характеристики на уровне *x*; *6* — случайная погрешность прогноза на уровне *x*

Примечание — На графике показаны пары результатов измерений и прогнозов (с соответствующими доверительными интервалами) для четырех точек на местности.

Рисунок С.4 — Погрешность, вносимая градуировочной кривой

Приложение D
(справочное)

Сведения о соответствии национального стандарта Российской Федерации ссылочному международному стандарту

Таблица D.1

Обозначение и наименование международного стандарта	Степень соответствия	Обозначение и наименование межгосударственного стандарта
ИСО 2041:1990	NEQ	ГОСТ 24346—80 «Вибрация. Термины и определения»

Библиография

[1] ИСО 140 (все части) (ISO 140, all parts)	Акустика. Измерение звукоизоляции в зданиях и элементов зданий (Acoustics — Measurement of sound insulation in buildings and of building elements)
[2] ИСО 2017-2 (все части) (ISO 2017-2)	Вибрация и удар. Опоры упругие. Часть 2. Техническая информация, необходимая для проектирования изоляции систем рельсового транспорта (Mechanical vibration and shock — Resilient mounting systems — Part 2: Technical information to be exchanged for the application of isolation vibration associated with railways systems)
[3] ИСО 2631-1:1997 (ISO 2631-1:1997)	Вибрация и удар. Оценка воздействия общей вибрации на человека. Часть 1. Общие требования (Mechanical vibration and shock — Evaluation of human exposure to whole-body vibration — Part 1: General requirements)
[4] ИСО 2631-2:2003 (ISO 2631-2:2003)	Вибрация и удар. Оценка воздействия общей вибрации на человека. Часть 2. Вибрация в зданиях (диапазон частот от 1 до 80 Гц) [Mechanical vibration and shock — Evaluation of human exposure to whole-body vibration — Part 2: Vibration in buildings (1 Hz to 80 Hz)]
[5] ИСО 3534-1:2006 (ISO 3534-1:2006)	Статистические методы. Словарь и условные обозначения. Часть 1. Общие статистические термины и термины теории вероятности (Statistics — Vocabulary and symbols — Part 1: Probability and general statistical terms)
[6] ИСО 4866:1990 (ISO 4866:1990)	Вибрация и удар. Вибрация зданий. Руководство по измерению вибрации и оценке ее воздействия на здание (Mechanical vibration and shock — Vibration of buildings — Guidelines for the measurement of vibrations and evaluation of their effects on buildings)
[7] ИСО 8041:2005 (ISO 8041:2005)	Воздействие вибрации на человека. Средства измерений (Human response to vibration — Measuring instrumentation)
[8] ИСО 8569:1996 (ISO 8569:1996)	Вибрация и удар. Измерение и оценка воздействия вибрации в здании на оборудование, чувствительное к динамическим воздействиям (Mechanical vibration and shock — Measurement and evaluation of shock and vibration effects on sensitive equipment in buildings)
[9] ИСО 10137:1992 (ISO 10137:1992)	Основы расчета строительных конструкций. Эксплуатационная надежность зданий в условиях воздействия вибрации (Bases for design of structures — Serviceability of buildings against vibration)
[10] ИСО/ТС 10811 (все части) (ISO/TS 10811, all parts)	Вибрация и удар. Вибрация и удар в зданиях, где установлено чувствительное оборудование (Mechanical vibration and shock — Vibration and shock in buildings with sensitive equipment)
[11] ИСО 10815:1996 (ISO 10815:1996)	Вибрация. Измерения вибрации внутри железнодорожных туннелей при прохождении поездов (Mechanical vibration — Measurement of vibration generated internally in railway tunnels by the passage of trains)
[12] МЭК 60942:2003 (IEC 60942:2003)	Электроакустика. Калибраторы акустические (Electroacoustics — Sound calibrators)
[13] МЭК 61260:1995 (IEC 61260:1995)	Электроакустика. Фильтры с шириной полосы в октаву и доли октавы (Electroacoustics — Octave-band and fractional-octave-band filters)
[14] МЭК 61672-1:2002 (IEC 61672-1:2002)	Электроакустика. Шумомеры. Часть 1. Технические требования (Electroacoustics — Sound level meters — Part 1: Specifications)
[15] ЕН 13146-3:2002 (EN 13146-3:2002)	Рельсовый транспорт. Рельсовый путь. Методы испытаний скрепления. Часть 3. Определение амортизации ударных нагрузок (Railway applications — Track — Test methods for fastening systems — Part 3: Determination of attenuation of impact loads)
[16] ЕН 13481-6:2002 (EN 13481-6:2002)	Рельсовый транспорт. Рельсовый путь. Требования к характеристикам скрепления. Часть 6. Специальные скрепления для ослабления вибрации (Railway applications — Track — Performance requirements for fastening systems — Part 6: Special fastening systems for attenuation of vibration)
[17] ЕН 13848-1:2004 (EN 13848-1:2004)	Рельсовый транспорт. Рельсовый путь. Качество геометрии рельсового пути. Часть 1. Описание геометрии рельсового пути (Railway applications — Track — Track geometry quality — Part 1: Characterization of track geometry)
[18] DIN 4150 (все части) (DIN 4150, all parts)	Вибрация в зданиях (Vibrations in buildings)

[19] DIN 45672 (все части) Измерение вибрации вблизи железнодорожных путей
(DIN 45672, all parts) (Vibration measurement associated with railway traffic systems)
[20] DIN 45673 (все части) Вибрация. Упругие элементы рельсового пути
(DIN 45673, all parts) (Mechanical vibration — Resilient elements used in railway tracks)
[21] NS 8176:1999 Вибрация. Измерения вибрации от наземного транспорта в зданиях и руководство по оценке ее воздействия на человека
(NS 8176:1999) (Vibration and shock — Measurement of vibration in buildings from landbased transport and guidance for evaluation of its effects on human beings)
[22] ÖNORM S 9012:1996 Оценка воздействий от рельсового транспорта на человека в зданиях. Вибрация и переизлученный шум
(ÖNORM S 9012:1996) (Evaluation of human exposure in buildings to immissions by railway traffic — Vibrations and secondary air-borne noise)
[23] VDI 2716:2001 Воздушный шум и вибрация от городского рельсового транспорта
(VDI 2716:2001) (Airborne and structure-borne noise of local public transport railways)
[24] VDI 3837:2006 Вибрация грунта вблизи от наземных рельсовых коммуникаций. Расчет спектра вибрации
(VDI 3837:2006) (Ground-borne vibration in the vicinity of rail systems at grade — Spectral prediction method)
[25] Руководство ИСО/МЭК 98:1995 Руководство по выражению неопределенности измерений
(ISO/IEC Guide 98:1995) (Guide to the expression of uncertainty in measurement)

[26] ANC Guidelines, *Measurement and assessment of groundborne noise and vibration*, 2001
[27] FRYBA, L. *Vibration of solids and structures under moving loads*. Noordhoff International Publishing, Groningen, 1972
[28] GORDON, C.G. Vibration prediction and control in microelectronic facilities. *Internoise 1996*
[29] GREER, R.J. and COLLINS, K.M. Ground-borne noise and vibration from railways. *Internoise 1996*
[30] GREER, R.J. et al. Channel tunnel rail link — High speed, low impact, minimum cost. *ICE Transport Journal*, 153(2), 2002, pp. 71—78
[31] GRIFFIN, M. J. *Handbook of human vibration*. Academic Press, 1990
[32] HUNT, H.E.M. Prediction of vibration transmission from railways into buildings using models of infinite length. *Vehicle Systems Dynamic Supplement*, Swets & Zeitlinger, 1995
[33] JONSSON, J.O. *On ground and structural vibrations related to railway traffic*. PhD Thesis, Chalmers University of Technology, Sweden, 2000
[34] KRÜGER, F. Immissionsgerechte Gestaltung des Gleisoberbaus von Tunnelstrecken. *Zeitschrift für Lärmbekämpfung*, 39, Spinger, 1992, pp. 165—175
[35] Krylov, V.V. *Noise and vibration from high speed trains*. Thomas Telford, 2001
[36] MADSHUS, C., BESSASON, B., and HARVIK, L. Prediction model for low frequency vibration from high speed railways on soft ground. *Journal of Sound and Vibration*, 193(1), 1996, pp. 195—203
[37] MAKOVICKA, D. The use of rubber for vibro-base-insulation of the building structure exposed to the seismic effect of traffic. *Building Research Journal*, 40, ser. E, No. 9/3, Slovak Academic Press, 1992
[38] NG, S.L.D. *Transmission of ground-borne vibration from surface railway trains*, DPhil, University of Cambridge, 1995
[39] SHARIF, A.K. *Dynamic performance investigation of base isolated structures*, PhD, Imperial College of Science and Technology, London, 1999
[40] TALBOT, J.P. *On the performance of base-isolated buildings: A generic model*. DPhil, Cambridge University, 2001

УДК 534.322.3.08:006.354 ОКС 17.160
45.080
93.060 Д50

Ключевые слова: рельсовый путь, рельсовый транспорт, вибрация, шум, источник, путь распространения, объект воздействия, показатель, прогностическая модель, прогноз, измерения

Редактор *Л. В. Афанасенко*
Технический редактор *Н. С. Гришанова*
Корректор *С. И. Фирсова*
Компьютерная верстка *А. П. Финогеновой*

Сдано в набор 22.05.2008. Подписано в печать 06.10.2008. Формат 60×84 1/8. Бумага офсетная. Гарнитура Ариал. Печать офсетная. Усл. печ. л. 4,65. Уч.-изд. л. 4,40. Тираж 238 экз. Зак. 1229.

ФГУП «СТАНДАРТИНФОРМ», 123995 Москва, Гранатный пер., 4.
gost.e-ecolog.ru gost.e-ecolog.ru
Набрано и отпечатано в Калужской типографии стандартов, 248021 Калуга, ул. Московская, 256.

gost.e-ecolog.ru