

РАСЧЕТ ШУМОВОЙ ЭМИССИИ ОТ ИСКУССТВЕННОГО СООРУЖЕНИЯ ПРИ УСЛОВИИ СНИЖЕНИЯ ВИБРОДИНАМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ОТ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА

Строительство искусственных сооружений для передвижения рельсового транспорта в городских агломерациях положительно влияет на развитие инфраструктуры, но структурный шум, вызываемый передвижением рельсового транспорта, негативно влияет на акустическую нагрузку прилегающих территорий. Повышение благополучия населения при проектировании объектов инфраструктуры, варианты и методы снижения структурного шума являются целью данной работы.



Д.А. Райлян

Ключевые слова: вибрация, структурный шум, акустический комфорт

EDN: ASJMIL

Внешний шум поезда главным образом создается взаимодействием колеса и рельса. Этот шум зависит от таких факторов как скорость движения поезда, геометрия рельсового профиля и исправность колесной пары, типа подвижного состава (в зависимости от осевой нагрузки), конструкционная специфика тормозных механизмов, конструкция верхнего строения железнодорожного пути.

Методы снижения генерируемого колесом и рельсом шума можно условно разделить на две большие группы:

- снижение шума в источнике образования;
- снижение шума на пути распространения от источника до нормируемого объекта.

Снизить шум в источнике образования можно следующим образом:

- уменьшить износ рельса и поверхности катания колесной пары путем шлифования;
- применить демпфирование колесной пары;
- улучшить динамические характеристики конструкции эксплуатируемого пути;

- применить шумопоглощающий акустический экран в виде фартука, установленного на высоту тележки;
- установить шумоотражающие акустические экраны вдоль железнодорожного пути.

К числу мер по снижению шума на пути распространения, следует отнести расположение пути в выемке, глубиной 2 м и более, увеличение расстояния между поездом и нормируемым объектом, применение зеленых насаждений группами из хвойных и лиственных деревьев.

Влияние вибрации и структурного шума на акустический комфорт в зданиях, расположенных в непосредственной близости к железной дороге, очень значительно. Вибрационные волны, передаваемые через фундамент на конструкции сооружений, воспринимаются как неприятные низкочастотные колебания или как беспокоящий шум (гул), ухудшающие самочувствие людей и влияющие на работу высокоточных приборов.

Спектр вибрации, возбуждаемой движением поездов, имеет ярко выраженный низкочастотный харак-

Райлян Дмитрий Анатольевич, технический директор ООО «Гавари Рейлвейс». Область научных интересов: пути распространения вибрации, вызванной движением транспортных средств; методы снижения вибрационного воздействия и структурного шума; воздействие вибрации на работников; расчет параметров виброизолирующих элементов. Автор трех научных работ.

тер. Основные составляющие находятся в диапазоне 10–250 Гц при максимуме на частоте 80 Гц.

Вторичный воздушный шум возникает вследствие отражения звуковой волны от конструкции, в которой, например, при движении проходящего подвижного состава, возбуждаются вибрации. Это относится, в первую очередь, к металлическим конструкциям, таким как стальные мосты, путепроводы и виадуки.

Конструкции искусственных сооружений имеют тенденцию излучать низкочастотный шум во время проезда подвижного состава. Кроме того, совместное прохождение и качение возбуждения вызывают шум в диапазоне средних частот. Следствием этого являются жалобы на раздражение, нарушение сна или ухудшения самочувствия людей в близлежащих нормируемых объектах.

Расчет шумовой эмиссии произведен в соответствии с ГОСТ 33325-2015 «Шум. Методы расчета уровней внешнего шума, излучаемого железнодорожным транспортом».

Диапазон статических нагрузок всей линейки материалов Geneg V2 составляет от 0,011 до 1,5 Н/мм². Статический модуль упругости в интервале напряжений от 0,02 до 0,09 МПа составляет 1,7 МПа.

Результаты сравнительной оценки показателей вибрации на различных участках пути (с уложенными подбалластными матами и без них) при прохождении поезда приведены в табл. 1.

В данном случае определялся коэффициент передачи колебаний с рельса на шпалы и подшпальное основание. Реализуемые собственные частоты для конструкции верхнего строения пути с подбалластными матами составляют $f_0 > 25$ Гц.

При переводе логарифмических единиц в ощущения человека следует сказать, что использование подбалластных матов снижает вибрацию на частотах 16 и 31,5 Гц в 3,16 раза и на частоте 31,5 Гц не превышает гигиенический норматив; на частоте 63 Гц снижение происходит в 10 раз и показатели вибрации значительно ниже гигиенического норматива.

Снижение вибрации на частоте 125 Гц исключает воздействие переизлученного шума.

Для реализации методов, направленных на обеспечение санитарно-эпидемиологического, а также социального благополучия населения, прогнозирования и расчета акустической обстановки на длительный период, а также оценки эффективности шумозащитных мероприятий необходимо проведение расчета риска здоровью населения, подверженного сверхнормативному акустическому воздействию от транспортных потоков (табл. 2).

Результаты исследования

Оценка эффективности снижения шума при использовании подбалластных матов в конструкции остановочного пункта Дмитровская Рижского направления МЖД (с реконструкцией железнодорожных путепроводов Рижского направления), (рис. 1) выполнена по методике расчета структурного шума. Визуализация проведена с помощью сертифицированного программного обеспечения «АРМ-акустика 3D». На данную конструкцию получены экспертное заключение от 27 июня 2012 года НИИСФ РААСН и экспертное заключение от 06.07.2012 года Федерального бюджетного учреждения здравоохранения «Центр гигиены и эпидемиологии в городе Санкт-Петербург» на использование указанного программного продукта для оценки шумового воздействия промышленных предприятий, разработки проекта санитарно-защитной зоны.

Шумовая характеристика движения железнодорожного транспорта определена расчетным путем согласно ГОСТ 33325-2015 с учетом типа подвижного состава, его скорости, а также конструкции путепровода.

Расчетный параметр — эквивалентный и максимальный уровни звука, дБА, в условиях проектной и перспективной нагрузки.

В расчетах учтена эффективность конструкций с подбалластными матами относительно типового верхнего строения пути.

Критерий выбора точек:

- точка должна находиться в прямом поле воздействия источников шума;
- точка должна находиться на нормируемых территориях (скверы) и в направлении нормируемых по фактору «шум» объектов;
- точка должна находиться на удалении от зданий для исключения или минимизации влияния отраженного шума на расчетную точку.

Расчеты проведены для двух сценариев: 1 — движение по пути с подбалластным слоем без матов; 2 — движение по пути с подбалластным слоем и с матами.

Приняты условия существующей застройки (рис. 2) и особенности рельефа местности на моделируемом участке пути в районе путепровода.

Исходные данные для акустического расчета:

- поезда — пассажирские и электроподвижной состав;
- скорость 60 км/ч — средняя, поезда движутся вдоль пассажирских платформ;
- электроподвижной состав — торможение и разгон;

Таблица 1

Значения показателей вибрации при прохождении поездом разных участков

Эквивалентные уровни виброускорения, дБ, по октавным полосам со среднегеометрическими частотами, Гц	Фон			Участок с уло- женными подбал- ластными матами			Участок без подбалластных матов			Разница между значениями		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
	Начало участка на расстоянии 8 м от железнодорожного пути											
2	69,1	64,4	70,1	72,1	63,6	74,7	92,1	78,9	75,5	-20	-15,3	-0,8
4	69,8	60,5	64,4	66,2	60,8	66,6	80,7	61,5	68,4	-14,5	-0,7	-1,8
8	67,7	58,7	58,8	62,9	61,0	61,9	73,9	72,2	68,6	-11	-11,2	-6,7
16	64,1	60,2	57,9	61,7	62,5	61,9	104,7	99,0	98,1	-43	-36,5	-36,2
31,5	62,4	61,3	59,9	65,4	69,1	67,6	108,0	105,7	105,0	-42,6	-36,6	-37,4
63	59,5	59,3	59,9	64,8	65,6	60,7	95,3	92,9	100,7	-30,5	-27,3	-40
Эквивалентные скорректированные уровни виброускорения, дБ	74	68	72	74	72	76	110	107	107	-36	-35	-31
	Середина участка на расстоянии 8 м от железнодорожного пути											
2	67,3	64,1	78,1	71,1	81,9	67,4	92,1	78,9	75,5	-21	3	-8,1
4	64,1	59,2	71,9	67,4	77,6	61,2	80,7	61,5	68,4	-13,3	16,1	-7,2
8	60,6	57,4	68,4	67,0	75,5	60,4	73,9	72,2	68,6	-6,91	3,3	-8,2
16	59,0	58,7	67,5	75,6	79,9	76,6	104,7	99,0	98,1	-29,1	-19,1	-21,5
31,5	60,1	61,3	67,4	82,1	84,3	83,4	108,0	105,7	105,0	-25,9	-21,4	-21,6
63	59,0	60,4	64,6	86,5	85,9	83,6	95,3	92,9	100,7	-8,8	-7	-17,1
Эквивалентные скорректированные уровни виброускорения, дБ	70	68	80	88	90	87	110	107	107	-22	-17	-20
	Конец участка на расстоянии 8 м от железнодорожного пути											
2	74,9	63,9	68,7	82,8	63,9	68,7	92,1	78,9	75,5	-9,3	-15	-6,8
4	66,7	60,8	64,8	77,7	59,8	61,6	80,7	61,5	68,4	-3	-1,7	-6,8
8	63,3	60,0	60,4	71,7	58,0	59,1	73,9	72,2	68,6	-2,2	-14,2	-9,5
16	62,4	63,3	59,4	67,1	62,9	61,6	104,7	99,0	98,1	-37,6	-36,1	-36,5
31,5	60,5	60,3	59,8	65,6	67,1	64,1	108,0	105,7	105,0	-42,4	-38,6	-40,9
63	58,2	58,8	57,3	62,0	63,4	61,5	95,3	92,9	100,7	-33,3	-29,5	-39,2
Эквивалентные скорректированные уровни виброускорения, дБ	76	69	71	84	71	71	110	107	107	-26	-36	-36

Таблица 2

**Результаты расчетов характера уровня шума при движении подвижного состава
на линейном объекте с установленными подбалластными матами**

Расстояние, м	Тип	63 Гц	125 Гц	250 Гц	500 Гц	1000 Гц	2000 Гц	4000 Гц	8000 Гц	$L_{\text{экв}}$	$L_{\text{макс}}$
25	УЗД	77,9	69,1	68,8	72,3	69,4	67,4	61,7	49,7	71,4	78,4
	ПДУ	75	66	59	54	50	47	45	44	55	70
	превышение	2,9	3,1	9,8	18,3	19,4	20,4	16,7	5,7	16,4	8,4
	снижение	10	20	26	26	26	26	26	26	26	26
	При установке подбалластных матов									47	52
50	УЗД	74,9	65,9	65,6	69	66,1	64	57,8	44,2	67	72,6
	ПДУ	75	66	59	54	50	47	45	44	55	70
	превышение	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	При установке подбалластных матов									41	48
75	УЗД	73,2	63,8	63,5	66,9	63,9	61,7	55,1	40,1	62	69
	ПДУ	75	66	59	54	50	47	45	44	55	70
	При установке подбалластных матов									38	43
100	УЗД	72,1	62,2	61,9	65,2	62,2	59,9	52,9	36,5	59	67
	ПДУ	75	66	59	54	50	47	45	44	55	70
	При установке подбалластных матов									33	41

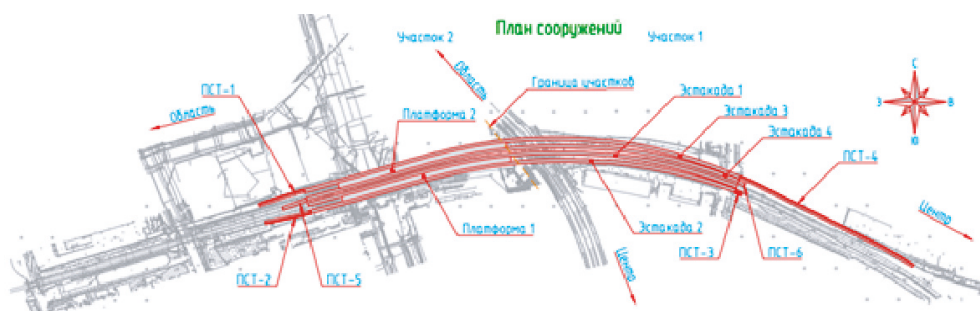


Рис. 1. Схема путепровода

• цель расчета — оценка эффективности шумозащитных мероприятий.

Фактические уровни звука зависят от интенсивности движения. Для расчета в дневное время принято движение 1 электропоезда в час по каждому пути, то есть 64 единицы в день; в ночное время — 11 единиц;

- шаг сетки — 20 м;
- расчет с шагом 5 м.

Расчеты проведены для двух сценариев:

- 1 — движение по пути с балластным слоем без матов (рис. 3). Данные сведены в табл. 3;
- 2 — движение по пути с балластным слоем и с матами (рис. 4–7). Данные сведены в табл. 4.

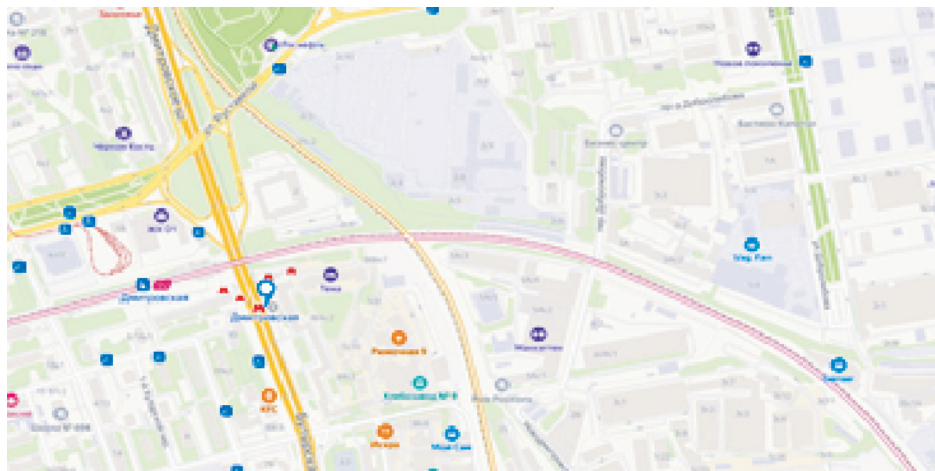


Рис. 2. Схема реконструируемого участка

Эффективность мероприятий по расчетным сценариям 1 и 2 приведена в табл. 5.

Выводы

Подбалластные маты Genep V2 за счет увеличения эластичности пути снижают уровень вибрации, предотвращают формирование переизлученного шума и, как следствие, уровень акустической нагрузки на территорию.

Согласно результатам расчетов, уровень эквивалентного шума в окрестности железнодорожного путепровода «Остановочный пункт Дмитровская Рижского направления МЖД» и на территории ближайшей жилой застройки за счет укладки подбалластных матов снижается на 6,9–11,1 дБА (в среднем с учетом логарифмической зависимости в 2–4 раза).

Прогнозируемый уровень шума на территории жилой застройки в дневное время при использовании подбалластных матов не превысит гигиенические нормативы (70 дБА).

Прогнозируемый уровень шума в расчетных точках РТ-12 (50 м в северном направлении) и РТ-13 (50 м в южном направлении), РТ-10 (100 м в северном направлении) в ночное время превышает гигиенический норматив на 0,2–1,9 дБА (в пределах погрешности измерения и прогнозирования). На территории прогнозирования РТ-10, РТ-12 и РТ-13 отсутствуют нормируемые объекты.

В расчетной точке РТ9 (жилой дом по ул. Добролюбова, 5а) расчетные показатели в ночное время суток превышают гигиенический норматив 55 дБА на 0,7 дБА — также в пределах погрешности измерения и проектирования (0,7 дБА).

Следует отметить, что, как любое прогнозное исследование, прогнозирование общего уровня шума содержит неопределенности, зависящие от доступных моделей и измерений. Фактический уровень шума в конкретных расчетных точках жилой застройки будет зависеть от возбуждения, вызванного транспортным средством, динамики и звукового излучения настила и балок, акустики пространства между настилом моста и нижележащей поверхностью, а также существующих фоновых уровней. 🚗

Без мероприятий

Рис. 3. Схема распределения изолиний без учета установки подбалластных матов
(высота распределения изолиний 1,5 м, дневное время)

Таблица 3

**Результаты расчетов эквивалентных уровней звука в расчетных точках
в дневное и ночное время суток (без мероприятий)**

Наименование	Тип	$L_{\text{экв.}}$
РТ-1,2	УЗД день	70,4
РТ-3, 4	УЗД день	76,6
РТ-5, 6, 7, 8	УЗД день	77,1
РТ-9	УЗД день	77,5
РТ-10	УЗД день	72,7
РТ-11	УЗД день	71
РТ-12	УЗД день	76
РТ-13	УЗД день	75,6
РТ-1,2	УЗД ночь	62,1
РТ-3, 4	УЗД ночь	62,4
РТ-5, 6, 7, 8	УЗД ночь	63,8
РТ-9	УЗД ночь	63,2
РТ-10	УЗД ночь	62,5
РТ-11	УЗД ночь	63,7
РТ-12	УЗД ночь	64,8
РТ-13	УЗД ночь	66,3

В условиях реализации мероприятий

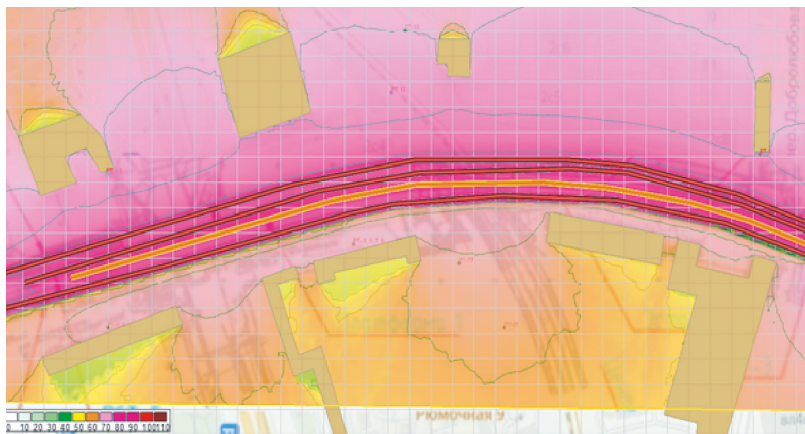


Рис. 4. Схема распределения изолиний с учетом установки подбалластных матов (день)

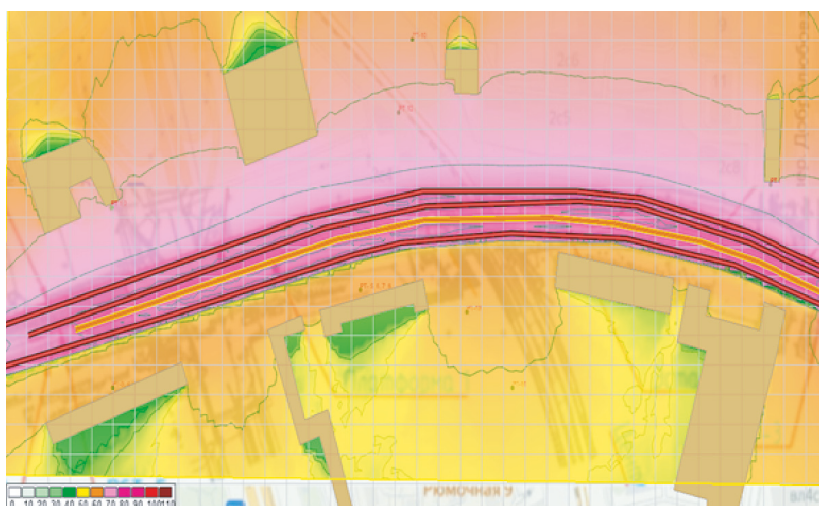


Рис. 5. Схема распределения изолиний с учетом установки подбалластных матов (ночь)

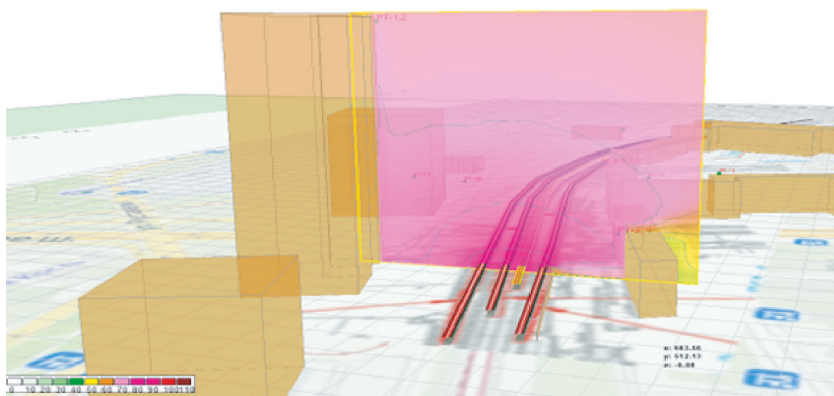


Рис. 6. Схема распределения изолиний с учетом установки подбалластных матов (день).
Срез вертикальный через точки 1 и 3

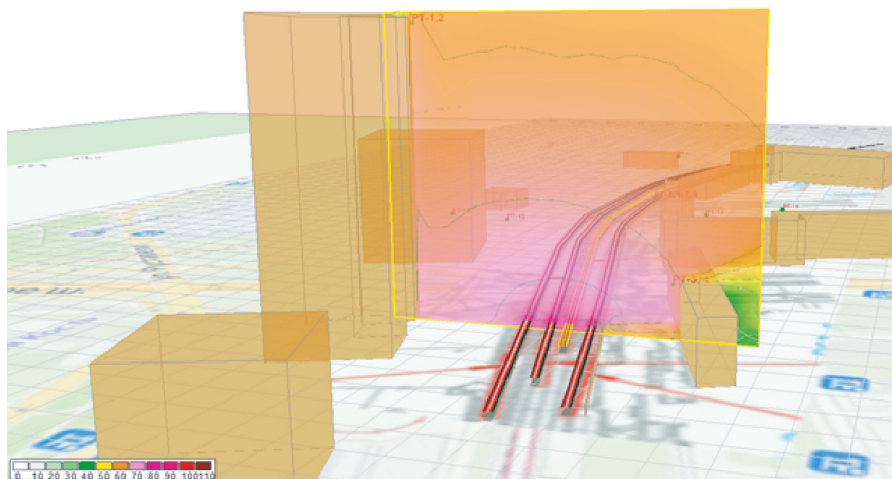


Рис. 7. Схема распределения изолиний с учетом установки подбалластных матов (ночь).
Срез вертикальный через точки 1 и 3

Таблица 4

Результаты расчетов эквивалентных уровней звука в расчетных точках в дневное и ночное время суток (в условиях реализации мероприятий – подбалластные маты)

Наименование	Тип	$L_{экв.}$
РТ-1,2	УЗД день	61,6
РТ-3, 4	УЗД день	67,8
РТ- 5, 6, 7, 8	УЗД день	68,3
РТ-9	УЗД день	70,0
РТ-10	УЗД день	65,8
РТ-11	УЗД день	61,6
РТ-12	УЗД день	68,1
РТ-13	УЗД день	64,5
РТ-1,2	УЗД ночь	53,3
РТ-3, 4	УЗД ночь	53,6
РТ- 5, 6, 7, 8	УЗД ночь	55,0
РТ-9	УЗД ночь	55,7
РТ-10	УЗД ночь	55,6
РТ-11	УЗД ночь	54,3
РТ-12	УЗД ночь	56,9
РТ-13	УЗД ночь	55,2

Таблица 5

Эффективность мероприятий – установка подбалластных матов

Наименование	Тип	Без мероприятий	С мероприятиями	Эффективность мероприятий
		<i>L_{экв.1}</i>	<i>L_{экв.2}</i>	<i>L_{экв.1} – L_{экв.2}</i>
РТ-1,2	УЗД день	70,4	61,6	8,8
РТ-3, 4	УЗД день	76,6	67,8	8,8
РТ- 5, 6, 7, 8	УЗД день	77,1	68,3	8,8
РТ-9	УЗД день	77,5	70,0	7,5
РТ-10	УЗД день	72,7	65,8	6,9
РТ-11	УЗД день	71	61,6	9,4
РТ-12	УЗД день	76	68,1	7,9
РТ-13	УЗД день	75,6	64,5	11,1
Допустимый уровень 70				
РТ-1,2	УЗД ночь	62,1	53,3	8,8
РТ-3, 4	УЗД ночь	62,4	53,6	8,8
РТ- 5, 6, 7, 8	УЗД ночь	63,8	55,0	8,8
РТ-9	УЗД ночь	63,2	55,7	7,5
РТ-10	УЗД ночь	62,5	55,6	6,9
РТ-11	УЗД ночь	63,7	54,3	9,4
РТ-12	УЗД ночь	64,8	56,9	7,9
РТ-13	УЗД ночь	66,3	55,2	11,1
Допустимый уровень 55				

Литература

1. Hölzl G., Nowack R. Experience of German Railways on noise emission of railway bridges, Proceedings Workshop on Noise Emission of Steel Railway Bridges, Rotterdam, The Netherlands, October 1996.
2. Wettschureck R.G. Measures for reduction of the noise emission of railway bridges, Proceedings Workshop on Noise Emission of Steel Railway Bridges, Rotterdam, The Netherlands, October 1996.
3. Шендеров, Е. Л. Волновые задачи гидроакустики / Е. Л. Шендеров. - Ленинград : Судостроение, 1972. - 348 с. - Текст : непосредственный.
4. Чукарин, А. Н. Теория и методы акустических расчётов и проектирования технологических машин для механической обработки / А. Н. Чукарин. - Ростов-на-Дону : Издательский центр ДГТУ, 2005. - 152 с. - Текст : непосредственный.
5. Иванов, Н. И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом / Н. И. Иванов. - Москва: Логос, 2010. - 424 с. - Текст : непосредственный.
6. Griffin M.J. Handbook of human vibration. Academic Press, 1990.
7. ГОСТ 31191.1-2004 (ИСО 2631-1:1997). Вибрация и удар. Оценка воздействия общей вибрации на человека. Часть 1. Общие требования = Vibration and shock. Measurement and evaluation of human exposure to whole-body vibration. Part 1. General requirements : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 декабря 2007 г. в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 июля 2008 г.: введен впервые : дата введения

2008-07-01/ разработан Открытым акционерным обществом «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем». - Москва, Стандартинформ, 2010. - 28 с. - Текст : непосредственный.

8. ГОСТ 31191.2-2004 (ИСО 2631-2:2003). Вибрация и удар. Оценка воздействия общей вибрации на человека. Часть 2. Вибрация в зданиях (диапазон частот от 1 до 80 Гц) = Vibration and shock. Measurement and evaluation of human exposure to whole-body vibration. Part 2. Vibration in buildings : издание официальное : утвержден и введен в действие Приказом Федерального агентства по техническому регулированию и метрологии от 12 декабря 2007 г. №355-ст в качестве национального стандарта Российской Федерации с 1 июля 2008 г. : введен впервые : дата введения 2008-07-01/разработан Открытым акционерным обществом «Научно-исследовательский центр контроля и диагностики технических систем». - Москва : Стандартинформ, 2008. - 12 с. - Текст : непосредственный.

9. DIN 4150 . Вибрация в зданиях (все части). - Текст : непосредственный.

10. ONORM S 9012:1996 . Оценка воздействий от рельсового транспорта на человека в зданиях. Вибрация и переизлученный шум. - Текст : непосредственный.

11. МР 2.1.10.0059-12. Методические рекомендации. 2.1.10. Состояние здоровья населения в связи с состоянием окружающей среды и условиями проживания населения. Оценка риска здоровью населения от воздействия транспортного шума / разработаны Федеральной службой по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека (Г. Г. Онищенко, О. И. Аксенова, А. С. Гуськов, С. М. Черненко), ФБУН «ФНЦ медико-профилактических технологий управления рисками здоровью населения» Роспотребнадзора (Н. В. Зайцева, И. В. Май, П. З. Шур, Д. А. Кирьянов, В. М. Чигвинцев, М. Ю. Цинкер, Д. Н. Кошурников, С. А. Вековщина, С. В. Фарносова, Е. В. Маркова), ФБУЗ «Федеральный центр гигиены и эпидемиологии» Роспотребнадзора (А. И. Верещагин, М. В. Калиновская, О. В. Гревцов), Управление Роспотребнадзора по г. Санкт-Петербургу (А. В. Мельцер, А. А. Шутович, Н. В. Ерастова), ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» (В. П. Чашин, К. Б. Фридман, Т. Е. Лим) : утверждены руководителем Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, Главным государственным санитарным врачом Российской Федерации Г. Г. Онищенко 23 марта 2012 г. : введены впервые : дата введения с момента утверждения. - Москва, 2010. - 40 с. - Текст : непосредственный.