



Д.А. Куклин

Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ»  
им. Д.Ф. Устинова, Санкт-Петербург, ул. 1-я Красноармейская, д. 1  
kda1969@mail.ru

## Оценка и снижение шума железнодорожного транспорта

### Аннотация

Освещена проблема акустического загрязнения от подвижного состава железнодорожного транспорта и воздействие шума на население. Приведены нормы шума поездов в ЕС. Рассмотрены и проанализированы источники шума железнодорожного транспорта, даны характеристики шума поездов. Проанализированы процессы образования и распространения внешнего шума излучаемого железнодорожным транспортом. Подробно описаны методы и средства снижения шума в источнике и на пути распространения звука.

**Ключевые слова:** железнодорожный транспорт, шум, норма шума, карты шума, источники шума, вклад источников, снижение шума, акустические экраны.

### Введение

Железнодорожный транспорт имеет ряд преимуществ перед другими видами транспорта с точки зрения воздействия на окружающую среду:

- высокая эффективность использования энергоресурсов;
- меньшая потребность в занимаемых площадях;
- меньший объем выбросов вредных веществ.

Однако в последнее время железнодорожный транспорт все чаще становится причиной жалоб населения на повышенный шум. Далеко не все железные дороги имеют зону санитарного разрыва. И строительство жилых домов зачастую ведется на расстоянии менее 100 м от железнодорожных путей. Проезд железнодорожного состава обуславливает возрастание уровня шума в некоторых случаях до 80-90 дБА на прилегающей жилой территории, что вызывает большое количество обращений жителей с жалобами на повышенный шум. Технические нормы шума в Российской Федерации, ограничивающие уровень шума, создаваемого поездом никак не стыкуются с санитарными нормами и действуют далеко не для всех видов подвижного состава. Отечественный подвижной состав железнодорожного транспорта в среднем на 7-10 дБА более шумный, чем европейские модели.

Проблема повышенного акустического воздействия на население от железнодорожного транспорта актуальна практически для всех населенных пунктов, прилегающих к железным дорогам и особенно остро стоит в больших мегаполисах.

## 1. Воздействие железнодорожного шума на население и нормы шума поездов

Повышенный шум – одна из основных причин жалоб населения, поэтому решению этой проблемы уделяется внимание во всем мире. Из всех вредных экологических факторов шум – самый массовый. Под его воздействием находится от 50 до 70% населения.

В европейском Союзе, где был проведен очень представительный опрос населения (таблица 1).

Таблица 1

### Основные источники шума, воздействующие на население

Источники шума	% населения, обеспокоенного повышенным шумом			
	очень высокая степень беспокойства		высокая степень беспокойства	
	День	Ночь	День	Ночь
Транспорт	84,8	83,1	78,3	76,8
– автомобильный	70,5	66,7	65,3	63,0
– трамваи	2,5	2,1	2,2	2,5
– железнодорожные поезда	6,2	13,2	5,7	9,0
– авиация	5,6	1,2	5,0	2,3
Предприятия	8,1	5,7	10,2	8,8
Прочие	2,6	5,4	4,5	6,5

Основной источник акустического загрязнения – транспорт (от 75 до 85%), при этом на втором месте находится железнодорожный транспорт. Доля железнодорожного транспорта составляет от 6 до 13%, его вклад возрастает в ночное время почти в 2 раза.

Выполненными в Европе исследованиями были установлены важные особенности воздействия железнодорожного шума на население, в отличие, например, от автодорожного:

- шум автодорожный непрерывный, а железнодорожный прерывисто регулярный, что позволяет слуховым рецепторам частично восстанавливаться от акустической нагрузки;
- шум железнодорожного транспорта медленно возрастает и убывает, что также легче воспринимается населением;
- шумовая нагрузка от железнодорожного транспорта распределена так, что способствует привыканию, в результате чего этот шум воспринимается легче;
- психологически железнодорожный шум с пониманием воспринимается жителями.

Это обстоятельство позволяет ввести в нормы шума железнодорожного транспорта т.н. «бонус», значение которого в разных странах колеблется от 5 до 7 дБА (табл. 2). Обоснованность такого подхода подтверждается опросами населения. Например, 80% жителей Германии, проживающих вблизи железных дорог, высказываются, что они привыкли к железнодорожному шуму.

Таблица 2

### Нормы шума для железнодорожного транспорта в странах ЕС

Страны	Швейцария	Германия	Нидерланды	Италия	Австрия
Бонус	5	5	7	7	5
<b>Норма</b> <b>(<math>L_{Aэкв}</math>)*</b>					
–день	55 до 60	59	57	65	60
–ночь	45 до 50	49	47	55	50
<b>Норма</b> <b>(<math>L_{Amax}</math>)**</b>					
–день	63 до 68	67	60	–	68
–ночь	53 до 58	57	50	–	58

\*  $L_{Aэкв}$  – норма эквивалентного уровня звука, дБА

\*\*  $L_{Amax}$  – норма максимального уровня звука, дБА

Этот опыт был бы полезен и в нашей стране. Напомним, что принятые в нашей стране санитарно-гигиенические нормы шума [2] не привязаны к источникам шума, который нормируется, например, для помещений жилых и общественных зданий и на территории жилой застройки в зависимости от назначения помещений и времени суток.

В странах ЕС уже много лет действуют нормы внешнего шума подвижного состава железнодорожного транспорта [3]. Наличие специальных норм позволяет эксплуатировать подвижной состав без нареканий со стороны контролирующих органов. Следует отметить, что нормы шума подвижного состава железнодорожного транспорта принимаются для расстояния 7,5 м от оси пути; нормируемая характеристика – уровень звука ( $U_3$ ), дБА. Отдельные нормативные значения  $U_3$  приняты для стационарного режима и движения с фиксированными скоростями. В России шум железнодорожного транспорта нормируется на расстоянии 25 м от оси пути и лишь для отдельных категорий подвижного состава. Например уровень внешнего шума электропоезда не должен превышать на скорости 80 км/час 84 дБА на бесстыковом пути и 87 дБА на звеньевом пути.

## 2. Источники шума железнодорожного транспорта

Воздействие шума железнодорожного транспорта на окружающую среду и пассажиров чрезвычайно многообразно. По интенсивности этот шум занимает промежуточное положение между авиационным и автомобильным, но по числу источников шума различного происхождения ему нет равных.

Можно выделить три основных объекта, на которые воздействует шум от железнодорожного транспорта:

- 1) селитебная зона;
- 2) пассажиры и обслуживающий персонал на станциях;
- 3) пассажиры и обслуживающий персонал поездов.

На примагистральных территориях и в селитебной зоне основными источниками шума в окружающей среде являются (таблица 3):

Таблица 3

**Источники шума железнодорожного транспорта [4]**

Источник шума	Расстояние, м	УЗ, дБА
Движение поезда по мосту со скоростью 60–80 км/ч	25	80-90
Движение подвижного состава при скоростях 150...200 км/ч	25	85-95
Электровозы	25	75-80
Тепловозы	25	80-95
Путевые машины вибрационного действия, щебнеочистительные машины	25	80-95
Соударение вагонов	30	95-100
Звуковые сигналы локомотивов и электроподвижного состава	25	100-110
Тяговые подстанции	30	45-50
Сортировочные станции	100-150	70-85

Основные источники шума, действующие на людей, находящихся на перронах, в залах ожидания и других помещениях вокзалов, следующие:

- громкоговорящие системы оповещения;
- шум приближающегося (уходящего) поезда;
- шум вспомогательного оборудования (вентиляционные системы, эскалаторы, уборочные машины, кондиционеры, системы отопления и пр.).

Покажем какими акустическими параметрами характеризуются отечественные поезда. В период 2005-2013 г. Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова выполнил измерения акустических характеристик нескольких сотен поездов различных типов. Полученные усредненные характеристики эквивалентных уровней звука (УЗ) поездов приведены на рис. 1. [5].

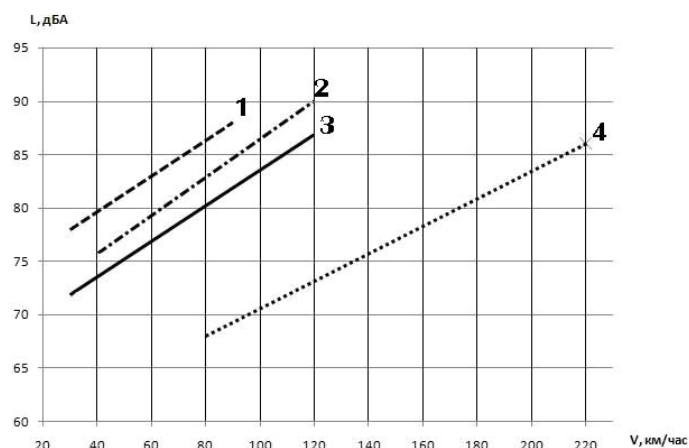


Рис. 1. Зависимость эквивалентных уровней шума различных категорий поездов от скорости: 1 – грузовые; 2 – электропоезда; 3 – пассажирские; 4 – высокоскоростные

Шум поездов при различных скоростях находится в пределах, показанных в таблице 4:

Таблица 4

#### Характеристики шума поездов

Тип поезда	Скорость, км/час	Уровни звука, дБА
Грузовые	30-90	78-88
Электропоезда	40-120	76-90
Пассажирские	40-130	78-88
Высокоскоростные поезда «Сапсан»	100-220	68-86

Шум поезда зависит в основном от его типа и скорости движения. Так, например, на скорости 80 км/час на расстоянии 25 м от оси пути уровень шума грузового поезда составляет 87 дБА, электропоезда – 83 дБА, пассажирского поезда – 80 дБА, высокоскоростного поезда САПСАН – 68 дБА.

Воздействие шума на жителей зависит не только от типа поезда и его скорости, но и от числа пар поездов, а также от расстояния от железнодорожной линии до жилой застройки, подвергающейся акустическому воздействию. Для понимания этого приведем пример связанный с выделением вклада скоростного поезда «Сапсан» на характер акустического загрязнения окружающей среды. Измерения были выполнены на станции Саблино Октябрьской железной дороги (таблица 5).

Таблица 5

**Эквивалентные характеристики шума поездов  
(данные БГТУ «ВОЕНМЕХ»)**

Тип поезда	Число поездов	Скорость км/ч	Эквивалентный УЗ, дБА за 16 часов	Максимальный УЗ, дБА
Высокоскоростные поезда «Сапсан»	12	175-230	53,6	85,8
Пассажирские	20	67-108	57,2	89,2
Грузовые	6	42-76	61,8	90,4
Электропоезда	21	50-85	59,6	91,5
Суммарный УЗ*, L <sub>сумм</sub>			65,8	

\*УЗ – уровень звука, дБА.

Из приведенной таблицы следует, что превышения шума над нормативными значениями в дневное время (55 дБА) составляет немногим более 10 дБА. Разделен и вклад шума поездов: вклад грузовых поездов – 61,8 дБА, пассажирских – 57,2 дБА, скоростного «Сапсан» – 53,6 дБА. По максимальным УЗ, например, грузовые – 90,4 дБА, пассажирские – 89,2 дБА, высокоскоростные – 85,8 дБА. Это показывает, что, например, шум поездов «САПСАН» не вносит заметный добавочный вклад в шумовую экспозицию. [6].

Приведенный пример дан для стандартного расстояния 25 м. Для получения данных о воздействии на население необходима привязка этих цифр к местности, что с наибольшей полнотой позволяет осуществить создание карт шума. В Европейском Союзе основой для создания карт шума является Директива ЕС 2002/49/ЕС. Согласно этой Директиве карты шума должны содержать информацию о существующей или прогнозируемой акустической ситуации, превышении нормативных значений уровня шума, количестве людей, подвергающихся повышенным уровням шума, а также количестве жилых домов, больниц и школ, расположенных на рассматриваемом участке.

### **3. Образование и распространение внешнего шума, излучаемого железнодорожным транспортом**

#### **3.1 Общая характеристика процессов шумообразования**

Анализируя процессы шумообразования поездов можно выделить три основные группы:

- шум оборудования;
- шум качения;
- аэродинамический шум.

Интенсивность шума зависит в основном от скорости и в общем виде представлена на рис. 2.

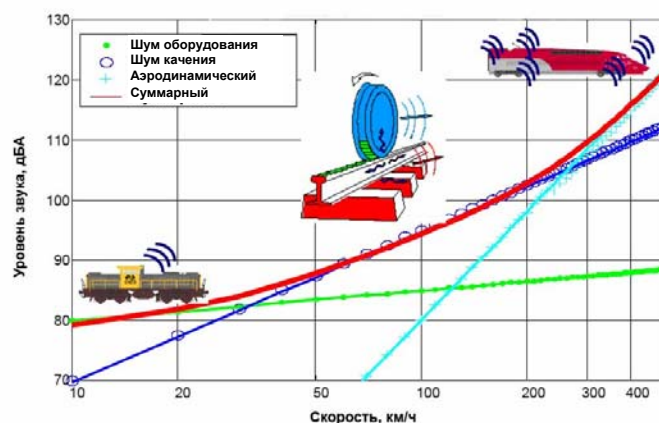


Рис. 2. Зависимость шума железнодорожного поезда от скорости

Шум оборудования (компрессоры, тяговые электродвигатели и др.) превалирует на скоростях до 50-60 км/ч. Шум качения — процесс соударения в системе «колесо — рельс» определяется зависимостью  $30\lg V$  ( $V$  — скорость движения, км/ч) и превалирует в диапазоне скоростей 60-300 км/ч. Аэродинамический шум образованный обтеканием воздухом корпуса подвижного состава, пантографа и др. определяется зависимостью  $60\lg V$  и превалирует на скоростях свыше 300 км/ч.

Определенный вклад в процессы шумообразования дают такие процессы как дребезжание корпуса подвижного состава (корпусной шум), «визг» колеса в кривых, звукоизлучение тормозных колодок и колеса при торможении (шум торможения), соударение вагонов (шум сцепки), отражение звука при установке рельсов на плитах, удары на стыках рельсов и др.

### 3.2 Шум качения

Шум взаимодействия колеса и рельса появляется в результате вибрации, вызванной их взаимодействием. Процесс образования шума качения описывается моделью, созданной Ремингтоном [12]. Графический вид этой модели показан на рис. 3.

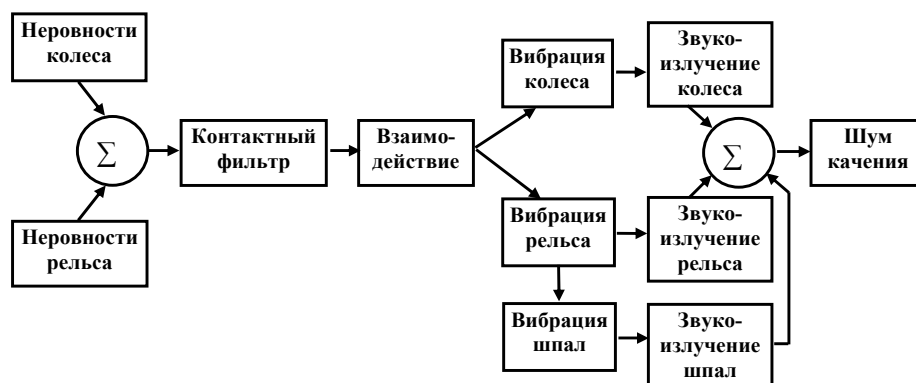


Рис. 3. Модель, описывающая возникновение шума качения

Для рельсов характерен волнообразный износ поверхности катания, характеризуемый периодическими неровностями длиной приблизительно 50-100 мкм и высотой в несколько десятков микрометров в зависимости от степени износа. Величина неровностей в значительной мере влияет на шум качения.

Шум качения также возрастает, если на колесах возникают неровности от торможения, так называемые «ползуны».

На возникающие при контакте возмущающие силы влияют не только неровности, но весовая нагрузка на ось, скорость движения, а также площадь контакта между колесом и рельсом. Эти силы связаны с механическим импедансом как колеса, так и рельса, определяемые их конструкцией. В зоне контакта колеса и рельса возникает своего рода пятно, которое называют контактным. В зоне контактного пятна можно, помимо двух основных тел – колеса и рельса, выделить своего рода третье тело – промежуточный слой, состоящий из смеси оксида железа и продуктов износа колес и рельсов. Смесь этих материалов выполняет роль своеобразной прокладки, снижая возникающие силы и играет роль фильтра. Возникающая при взаимодействии возмущающих сил вибрация возбуждает колесо, рельс, а через последний шпалы. Все взаимодействующие тела излучают звук, который называется шумом качения.

В разных диапазонах частот преобладает шум разных компонентов взаимодействующей системы. Шум шпал – низкочастотный диапазон до 400 Гц. В диапазоне частот от 400 до 1600 Гц превалирует шум рельсов, а в частотном диапазоне выше 2000 Гц основным источником становятся колесные диски.

Под скрежетом от подвижного состава при прохождении кривых следует понимать шум, который возникает при прохождении подвижным составом кривых малого радиуса. Этот скрежет обусловлен взаимодействием гребня бандажа колеса с рельсом, где основной шум дает колесо. Этот шум может на 10 и более дБА превышать шум качения от того же состава на прямолинейном участке пути при тех же прочих условиях. Обычно в скрежете преобладают дискретные тона, а частотный состав при прохождении поезда в кривых 500-8000 Гц, т.е. шум имеет ярко выраженный высокочастотный характер [16].

Шум торможения различен для различных видов тормозов. Самые мал шумные вагоны, оборудованные дисковыми тормозами. Наиболее шумные – вагоны, оборудованные колодочными тормозами с чугунными колодками. Здесь шум излучается колесом и системой торможения, но дополнительный эффект возникает из-за ползунов, образуемых на поверхности катания колеса. Если шум торможения носит кратковременный характер, то повреждения колеса приводят к увеличению шума качения. Шум поезда с дисковыми тормозами на 5-10 дБА ниже, чем с колодочными в высокочастотном диапазоне (рис. 4).



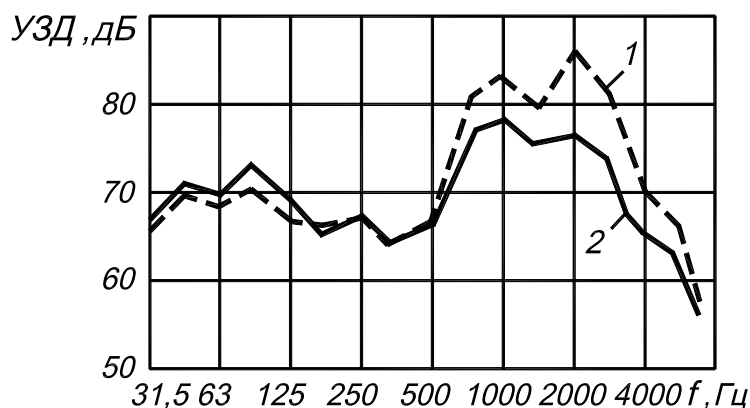


Рис. 4. Спектры шума (1/3) поезда ( $S = 25$  м) при скорости движения 160 км/ч:  
1 – вагоны с колодочными тормозами; 2 – вагоны с дисковыми тормозами

### 3.3 Распространение звука в пространстве

При распространении звука в пространстве от движущегося поезда происходит снижение уровней звука (УЗ) и уровней звукового давления (УЗД) с расстоянием, обусловленное явлением дивергенции, т.е. расхождения звукового поля во все больший объем пространства. Характер уменьшения УЗ и УЗД с расстоянием от поезда определяется его длиной. Протяженный поезд является источником цилиндрических звуковых волн, характерных для линейных излучателей. Для условно бесконечных линейных источников характерно снижение на 3 дБ (дБА) при каждом удвоении расстояния. Поезд имеет конечные размеры, поэтому указанная закономерность имеет ограничение, т.е. при увеличении расстояния цилиндрическая волна переходит в квазичилиндрическую (снижение 4-5 дБ), а затем в сферическую (снижение 6 дБ), когда поезд представляется точечным источником звука. Данные снижения УЗ от различных поездов с увеличением расстояния при прохождении поезда по плоскому участку приведены в таблице 6.

Разница уменьшения УЗ в свободном пространстве, например, для расстояния 100 м может достичь 4 дБА между грузовыми (длинный поезд) и электропоездами (короткий поезд). В существующих расчетных методиках эти особенности не учитываются.

Таблица 6

**Снижение шума для различных типов поездов  
на участке с плоским рельефом**

Расстояние, м	Тип поезда	Снижение УЗД, дБ, в полосах со среднегеометрическими частотами Гц									Снижение УЗ, дБА
		31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
25	электропоезд	-1,5	-2,0	-4,0	-6,0	-5,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6,0	-6
	пассажирский	-2,0	-3,5	-5,0	-6,0	-4,0	-5,0	-5,0	-5,0	-7,0	-5
	скоростной	-3,0	-4,0	-6,0	-6,5	-4,0	-4,5	-5,0	-6,5	-7,5	-5
	грузовой	-2,5	-2,5	-4,5	-5,0	-3,5	-3,5	-4,0	-5,0	-6,0	-4

50	электropоезд	-2,0	-3,0	-5,0	-7,0	-4,0	-6,0	-5,0	-6,0	-6,0	-5
	пассажирский	-2,0	-3,0	-6,0	-7,0	-5,0	-5,0	-5,0	-6,0	-7,5	-5
	скоростной	-3,0	-4,5	-6,0	-7,0	-4,5	-5,0	-6,0	-7,0	-8,0	-6
	грузовой	-2,0	-3,5	-5,0	-5,5	-4,0	-4,0	-5,0	-5,5	-7,0	-4
100	электropоезд	-5,0	-6,0	-6,0	-7,0	-7,0	-2,0	-6,0	-7,0	-9,5	-4
	пассажирский	-2,0	-2,5	-3,0	-7,0	-5,0	-2,0	-4,0	-6,0	-9,0	-3
	скоростной	-2,0	-2,0	-2,5	-6,0	-5,0	-2,5	-4,0	-5,0	-7,0	-4
	грузовой	-3,0	-4,0	-3,0	-7,0	-3,5	-3,0	-3,5	-5,0	-9,0	-1,5

Помимо дивергенции на процессы снижения шума может влиять рельеф местности (насыпи, выемки), зеленые насаждения. Ниже приведены полученные экспериментальные закономерности [17].

На рис. 5 показаны процессы образования звука при прохождении поезда по насыпи.

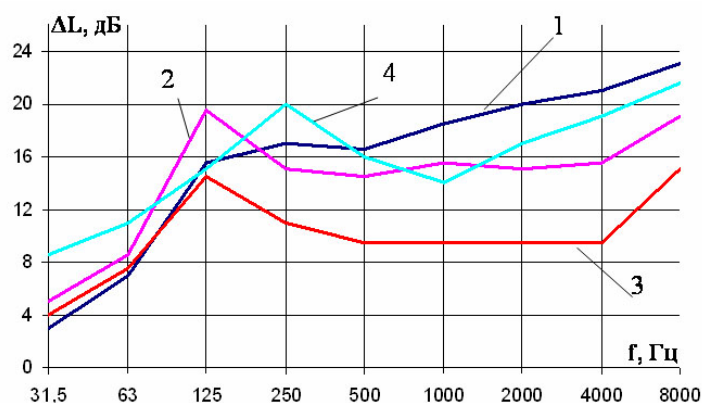


Рис. 5. Последовательное снижение (увеличение) УЗД при прохождении электропоезда по насыпи: 1 – 25м; 2 – 50м; 3 – 100м; для сравнения 4 – снижение УЗД от электропоезда на плоском участке на расстоянии 100 м

При прохождении поездов по насыпи кроме геометрического расширения фронта звуковой волны, действуют два противоположных механизма: создание верхней плоскостью насыпи экранирующего эффекта и образование звуковой тени вблизи насыпи и прямое излучение звука без звукопоглощения от источника в точку наблюдения (прямой звук). Это приводит к тому, что суммарное снижение (по сравнению с плоским участком) оказывается меньше на 1-3 дБА. Эти закономерности в методической литературе также не учитываются, поэтому в расчетах должна быть введена поправка на прохождение поездов по насыпи. Таким образом, при прохождении поездов по насыпи суммарное снижение, которое составляет 11-12 дБА оказывается меньше, чем снижение на ровном участке, где последнее составляет для разных поездов 11,5-15 дБА. При нахождении поезда на насыпи увеличивается вклад шума от поезда. Механизм увеличения вклада прямого звука от линейного протяжённого источника (край насыпи становится вторичным излучением) объясняется отсутствием затухания звука на подстилающей поверхности. На определённых расстояниях вклад прямого звука может преобладать над вкладом звука проходящего по поверхности, что ведёт к увеличению звука в этих точках.

На рис. 6 показан эффект снижения шума выемкой: на низких частотах (31,5-125 Гц) эффект (по сравнению с плоским участком) составляет 4-5 дБ, в средне-высокочастотном диапазонах (500-4000 Гц) эффект достигает 12-18 Б; дополнительное снижение УЗ (по сравнению с плоским участком) достигает 15дБА.

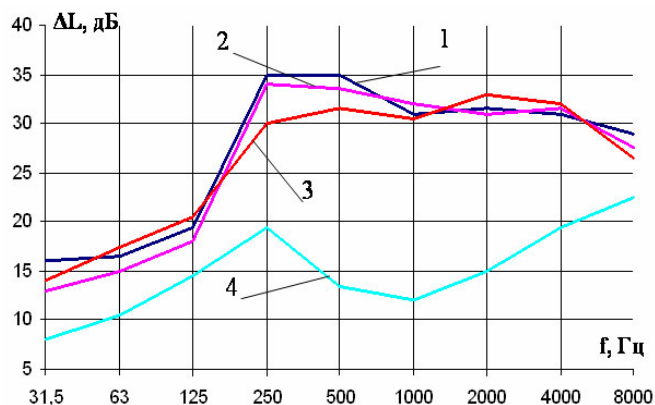


Рис. 6. Суммарное снижение УЗД, дБ, выемкой (с зелеными насаждениями) при увеличении расстояния от 7,5 до 100 м:

1 – электропоезда; 2 – пассажирские; 3 – скоростные; для сравнения: 4 – снижение УЗД на ровном участке при следовании скоростных поездов на расстоянии 100 м

На рис. 7 показано снижение УЗД зелёными насаждениями. Зелёные насаждения глубиной 50 м обеспечивают дополнительное снижение УЗД в диапазоне частот 31,5-2000 Гц на 2-5 дБ, на частотах 4000-8000 Гц на 8-12 дБ. Снижение УЗ достигает 5дБА, что значительно меньше, чем приводимые в литературе значения.

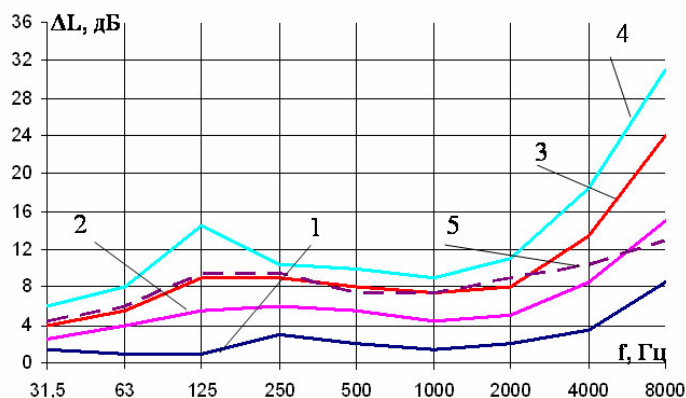


Рис. 7. Последовательное снижение УЗД в лесу с густым подлеском на примере грузовых составов на расстояниях: 1 – 7,5м; 2 – 15м; 3 – 25м; 4 – 50м; для сравнения 5 – снижение УЗД на плоском участке

## 4. Снижение шума железнодорожного транспорта

### 4.1 Основные методы и средства снижения шума поездов

Снижение шума осуществляется по следующим основным направлениям, показанным на рис. 8, а также в объекте защиты.



Рис. 8. Основные методы и средства снижения шума

Снижение шума в объекте защиты (защищаемом от шума здании) достигается конструктивно-строительными методами, обеспечивающими повышение звукоизоляции наружных конструкций зданий, например, установкой звукоизолирующего остекления оконных проемов.

В таблице 7 приведены ориентировочные значения снижения шума в источнике и на пути распространения. Так, например, вибродемпфированием колеса его шум может быть снижен на 5-10 дБА, а внешний шум поезда снижается всего на 1-2 дБА. С другой стороны при вибродемпфировании рельса его шум может быть снижен более чем на 4 дБА, а снижение внешнего шума поезда при этом составит до 3 дБА. Комбинация «тихого» колеса (–10 дБА) и рельса (–4 дБА) дает снижение внешнего шума поезда более чем на 5 дБА.

Таблица 7

**Меры и конструкции снижения шума поездов**

Место или способ снижения шума	Меры и конструкции снижения шума	Величина снижения шума, дБА		Общее снижение, дБА
		колесо	рельс	
Снижение возмущающих сил	1. Дисковые тормоза	-4	-7	-6
	2. Шлифование рельса	-6	-10	-9
	3. Замена чугунных колодок композитными	-6	-9	-8
	4. Бесстыковой путь	-2÷3	-2÷3	-2
Снижение шума колеса	1. Виброшлифование колеса	-5÷10	0	-1÷2
	2. Изменение формы и снижение размера колеса	-8	0	-1
Снижение шума рельса	1. Виброшлифование шейки рельса	0	-3÷4	-3
	2. Звукоизоляция шейки рельса	0	-2÷3	-2
	3. Прокладка под рельс	0	-1÷2	-1
Снижение шума на пути распространения	1. Установка юбок на тележки в районе колеса	-3÷6	0	-2
	2. АЭ вблизи головки рельса	0	-4÷6	-3÷5
	3. АЭ со звукопоглощением на расстоянии 3-5 м:			
	-2м	—	—	6÷8
	-3м	—	—	9÷11
	-4м	—	—	12÷15
	4. Насыпь 3-4 м	—	—	10÷12
Комбинации	5. Выемка 10-15 м	—	—	12÷20
	1. Тихое колесо и рельс	-10	-4	-5
	2. Снижение неровностей, тихое колесо и рельс	-18	-10	-11

В настоящее время эффективность мер по снижению шума на пути распространения (установка АЭ) в среднем составляет 10-15 дБА, что в 2-3 раза больше чем эффективность мер снижения шума в источнике образования (вибродемпфирование или звукоизоляция шейки рельса и др).

## 4.2 Снижение шума в источнике образования

### 4.2.1 Подвижной состав

**Тормозная система.** Основной недостаток тормозных систем – применение чугунных колодок, которые создают неравномерную поверхность катания колеса – ползуны. Основное направление снижения шума тормозных систем – ликвидация этой причины шумообразования путем ликвидации чугунных колодок и создания гладкой поверхности катания. Два основных направления решения этой проблемы:

- замена колодочных тормозов дисковыми;
- замена чугунных колодок композитными или металлокерамическими.

Замена колодочных тормозов дисковыми на пассажирских вагонах обеспечивает снижение шума, излучаемого колесом и системой торможения на 8-9 дБА.

Для грузовых вагонов применение дисковых тормозов невозможно. Для снижения шума идут по пути замены тормозных колодок из чугуна колодками из композитных материалов или металлокерамическими [25].

Эти колодки при торможении создают меньше неровностей на колесе. При создании новых типов колодок необходимо соблюдать следующие условия:

- должно быть приблизительное равенство коэффициентов трения заменяющих и заменяемых тормозных колодок;
- расходы при эксплуатации новых типов колодок не должны превышать расходы на чугунные колодки.

Для замены чугунных колодок были разработаны два вида колодок:

- типа К – из композитных материалов с увеличенным коэффициентом трения, предназначенные для нового подвижного состава;
- типа LL – из металлокерамического материала с таким же коэффициентом трения, как у чугунных колодок, для замены тормозных систем на эксплуатируемом подвижном составе, что позволяет обеспечить крупномасштабную замену чугунных колодок без существенного изменения в конструкции грузовых вагонов.

Испытания грузовых вагонов с новыми типами колодок показали, что шум качения может быть максимально снижен на величину до 8 дБА. При этом отмечается, что тормозные системы с К-блоками уменьшают шум на 5-6 дБА, а LL-блоками до 7-8 дБА. На рис. 9 приведены уровни шума грузовых вагонов с различными типами тормозных систем.

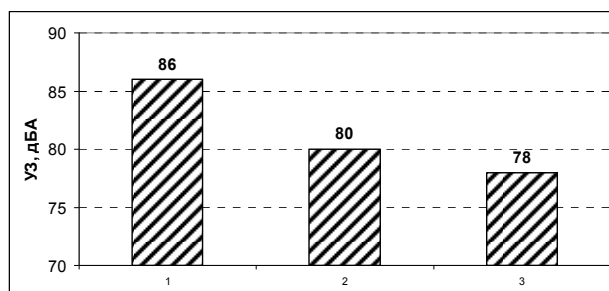


Рис. 9. Уровни звука грузовых вагонов, оборудованных различными тормозными системами на расстоянии 25 м и скорости 100 км/ч

1 – колодочные тормоза (чугунные колодки), 2 – колодочные тормоза (композитные колодки), 3 – дисковые тормоза

**Колесо.** Основные меры направлены на снижение звукоизолирующей способности колеса, которая достигается [26]:

- изменением формы колеса;
- снижением площади звукоизлучения за счет введения дополнительных отверстий в ступицу колеса (акустическое короткое замыкание);
- звукоизоляцией колеса;
- вибродемпфированием колеса, установкой абсорберов;
- подрессориванием колеса (прерывание пути распространения вибрации по колесу).

#### 4.2.2 Железнодорожный путь

**Шлифование рельсов.** С помощью шлифования поверхности рельсов устраняются неровности в виде волнообразного износа, влияющие на интенсивность шума качения. На железных дорогах ЕС применяется комбинированный метод акустического шлифования, представляющий собой сочетание фрезерования, строгания и колебательно-статического шлифования [27]. Обработка рельсов, как правило, носит превентивный характер и ее необходимость определяется техническим состоянием рельсов (главным образом, высотой неровностей) и излучаемым шумом. Решение о проведении акустического шлифования принимается, если внешний шум от поездов превышает 70 дБА днем и 60 дБА ночью. Как правило периодичность повторного шлифования рельсов составляет не более 12 месяцев, а средняя величина снимаемого слоя 0,3 мм.

Превентивная обработка рельсов позволяет предотвращать усталостные явления на поверхности катания. Измерения до и после обработки рельсов показывают, что снижение шума после акустического шлифования достигает не менее 10-12 дБА.

**Звукоизоляция, вибродемпфирование и виброизоляция рельса.** Снижение звукоизлучения рельса достигается установкой вибродемпфирующих накладок на шейку рельса [28], средством ближней звукоизоляции является акустический экран устанавливаемый там же [29]. Виброизоляция рельса достигается установкой прокладок под рельс.

На рис. 10 показана конструкция вибродемпфирующей резиновой накладки на рельс (резиновый профиль). В конструкции предусмотрено специальное крепление накладки к рельсу; резина имеет специальный состав(тяжелая резина).



Рис. 10. Вибродемпфирующая резиновая накладка на шейку рельса

На рис. 11 приведены спектры уровней звукового давления до и после установки накладок. Достигнуто снижение на 2-8 дБ в средне- высокочастотном диапазонах (4 дБА).

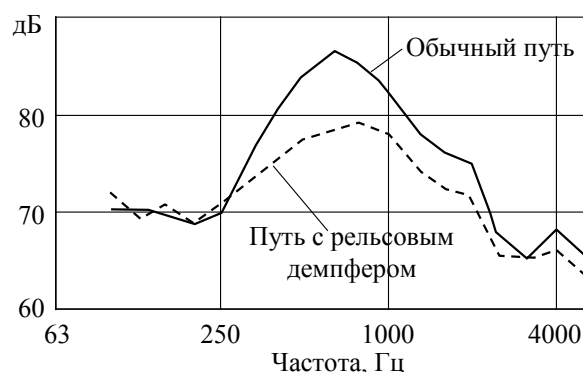


Рис. 11. Измеренное снижение УЗД на пути с рельсовыми демпферами при проходе поезда со скоростью 100 км/ч

На рис. 12 показана конструкция звукоизолирующего экрана на шейке рельса (система «Calm Rail»). Эта мера направлена на снижение передачи излучаемого шейкой рельса шума. На стальной профиль наносится изнутри вибродемпфирующее покрытие и звукопоглощающий материал. Снижение уровней звукового давления в диапазонах частот 125-1000 Гц составляет 4-11 дБ (до 4 дБА) [29].

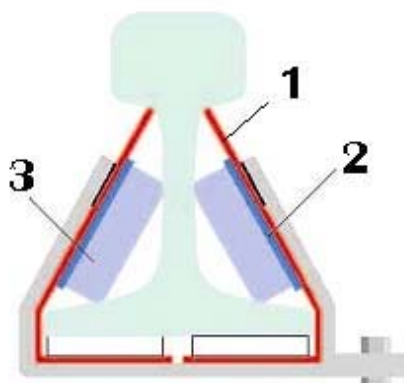


Рис. 12. Звукоизолирующий экран на шейке рельса: 1 – стальной профиль; 2 – вибродемпфирующее покрытие профиля; 3 – звукопоглощающий материал

Применение мягких прокладок под рельс взамен жестких незначительно (на 1 дБА) уменьшает излучаемый шум качения. Применение безбалластного пути (путь на плитном основании) увеличивает шум за счет отражения звука. Применением звукопоглощающих матов отраженный звук может быть снижен на 3-4 дБА.

#### 4.3 Снижение шума на пути распространения

Основным средством снижения шума на пути распространения являются акустические экраны (АЭ). АЭ – звукоизолирующая конструкция. Основной принцип и



назначение АЭ – отражение звука. Часть звука отражается от АЭ, но часть проходит за АЭ за счет явления дифракции, т.е. огибания звуком АЭ на свободных ребрах.

Чем выше (и длиннее АЭ), тем меньше доля дифрагированной энергии и больше акустическая эффективность АЭ [30]. В то же время угол дифракции может возрастать при приближении АЭ к источнику шума. При близком расположении АЭ его высота может быть снижена (малые АЭ).

01.03.2013 введены в действие следующие нормативные документы:

ГОСТ Р 54931. «Экраны акустические для железнодорожного транспорта. Технические требования» [31];

ГОСТ Р 54932. «Экраны акустические для железнодорожного транспорта. Методы контроля» [32].

Данные испытаний экранов созданных с учетом требований вышеуказанных нормативных документов приведены в таблице 8.

Таблица 8

### Снижение шума акустическими экранами

Наличие АЭ	Уровни звукового давления, дБ, в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц									Эквивалентные уровни звука, дБА
	31,5	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000	
До установки АЭ	70	73	67	62	70	61	59	54	43	68
После установки АЭ	68	70	62	55	53	45	42	33	22	53
<b>Допустимые уровни шума в дневное время СН 2.2.4/2.1.8.562-96</b>	<b>90</b>	<b>75</b>	<b>66</b>	<b>59</b>	<b>54</b>	<b>50</b>	<b>47</b>	<b>45</b>	<b>44</b>	<b>55</b>

Такие экраны снижают шум на 14-15 дБА и обеспечивают снижение шума в близрасположенной жилой застройке до требований норм.

Следует несколько слов сказать о малых АЭ максимально приближенных к головке рельса (например, на концах шпал).

Так в феврале 2014 г специалистами БГТУ "ВОЕНМЕХ" были проведены испытания малого акустического экрана "Soundim" в Финляндии. Для испытаний был выделен экспериментальный участок финских железных дорог с установленным экспериментальным экраном длиной 60 м. Высота верхнего ребра экрана над головкой рельса составляла 850 мм. Расстояние от экрана до оси пути 1920 мм. Общий вид экрана представлен на рис. 13.

Эффективность экрана Soundim составила 8-10 дБА при движении по путям непосредственно прилегающих к экрану (рис. 14) и 4-7 дБА при движении по путям удалённых от экрана (рис. 15), что сопоставимо с эффективностью экранов других производителей и других конструкций экранов.



Рис. 13. Общий вид акустического экрана Soundim

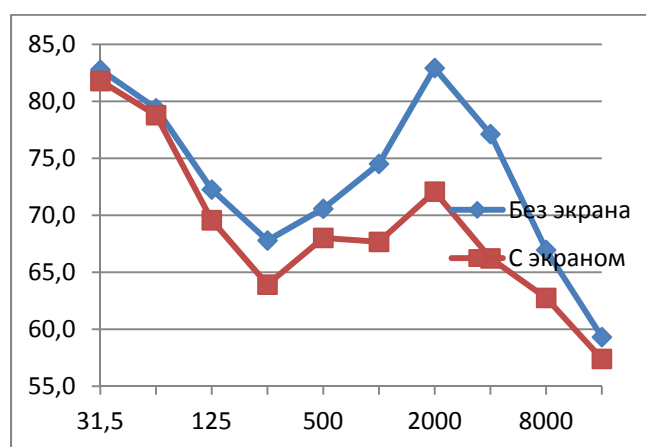


Рис. 14. Эффективность акустического экрана Soundim при проезде поезда по 1-му пути

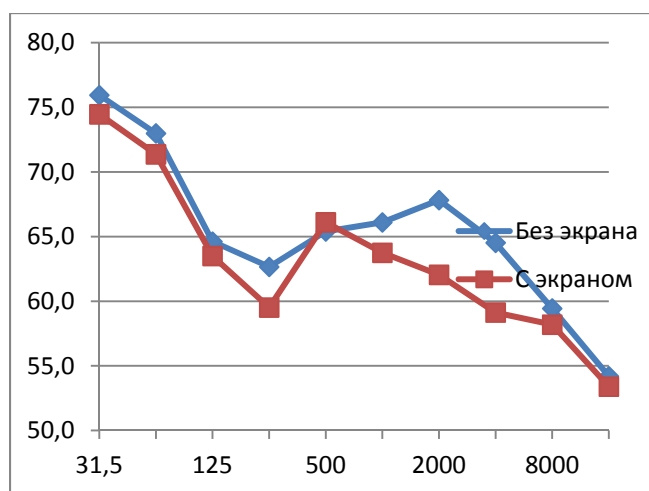


Рис. 15. Эффективность акустического экрана Soundim при проезде поезда по 2-му пути

---

## Литература

1. О концепции снижения уровней шума и вибрации в городе Москве. Постановление Правительства Москвы, 16 октября 2007 г., №896-ПП.
2. Санитарные нормы СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки, Минздрав России, Москва 1997.
3. Interoperability of the Trans-European high-speed rail system – Directive 96/48/EC  
– Technical specification for interoperability (TSI) relating to high-speed rolling stock – Commission Decision 2002/735/EC;  
– Technical specification for interoperability (TSI) relating to high-speed railway infrastructures – Commission Decision 2002/732/EC.
4. Иванов Н.И. Инженерная акустика. Теория и практика борьбы с шумом: учебник, – М.: Логос, 2010, – 424 с.
5. Куклин Д.А. Расчет шумовых характеристик потоков железнодорожного транспорта. Специальный выпуск "ELPIT-2012" научного издания «Известия Самарского научного центра РАН», г. Самара, 2012 г., т 14, с. 885-888.
6. Иванов Н.И., Куклин Д.А. Проблема шума железнодорожного транспорта и пути ее решения. Сборник трудов III Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Защита населения от повышенного шумового воздействия», СПб, 22-24 марта, 2011 стр. 108-123.
7. Руководство по разработке карт шума улично-дорожной сети города. – М., 1980.
8. СНиП 23-03-2003 «Защита от шума». М.: Госстрой, 2004.
9. Рекомендации по учету требований по охране окружающей среды при проектировании автомобильных дорог и мостовых переходов. – М., 1995.
10. Защита от шума в градостроительстве. Справочник проектировщика. М., Стройиздат, 1993.
11. Буторина М.В., Н.И. Иванов, А.В. Кудаев, Д.А. Куклин, Г.М. Курцев, А.Е. Шашурин. Результаты картирования шума Санкт-Петербурга. Журнал «Безопасность жизнедеятельности», август №8/2009, с. 9-12.
12. Remington P.J. Wheel/rail rolling noise/ Theoretical analysis. Journal of the Acoustical Society of America, 1987, 81, 1805-1823.
13. Шум на транспорте/Под ред. В.Е. Тольского, Г.В. Бутакова, Б.Н. Мельникова, М.: Транспорт, 1995.
14. Шум качения и методы борьбы с ним. «Железные дороги мира»/ Пер. Т. Klimpel, К. Knothe. Glasers Annalen, 2002, № 10, S. 450 – 457.
15. D.J. Thompson and C.J.C.Jones. Recent Developments in Railway Noise Reduction Technology. Sixth International Congress on Sound and Vibration. 5-8 July, 1999, Copenhagen, Denmark, p. 2613-2628/
16. Снижение шума в кривых. «Железные дороги мира» – 2009, № 6 с. 70-76.
17. Иванов Н.И., Прокудин И.В., Дариенко И.Н., Куклин Д.А., Буторина М.В., Тюрина Н.В. Проблема снижения шума и вибрации поездов. Сборник трудов II

- 
- Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Защита населения от повышенного шумового воздействия», СПб, 17-19 марта, 2009 с. 9-35.
18. ГОСТ Р 54933-2012. Шум. Методы расчета уровней внешнего шума, излучаемого железнодорожным транспортом.
  19. Санитарные правила и нормы СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200-03 с изменениями. Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов.
  20. ГОСТ 31295.2-2005 (ИСО 9613-2:1996) Шум. Затухание звука при распространении на местности. Часть 2. Общий метод расчета.
  21. ГОСТ Р 53187-2008 Акустика Шумовой мониторинг городских территорий.
  22. Рекомендации по межгосударственной стандартизации РМГ 43-2001. Государственная система обеспечения единства измерений. «Руководство по выражению неопределенности измерений».
  23. Свод правил по проектированию и строительству. СП 23-104-2004. Оценка шума при проектировании, строительстве и эксплуатации объектов метрополитена
  24. Методические рекомендации по оценке необходимого снижения звука у населенных пунктов и определению требуемой акустической эффективности экранов с учетом звукопоглощения. Утверждены распоряжением Минтранса России № ОС-362-р от 21.04.2003 г.
  25. Применение малозумных тормозных накладок из композита и металлокерамики. «Железные дороги мира» –2008, № 9, с. 67-69.
  26. Снижение уровней излучаемого колесом шума. «Железные дороги мира» – 1993, № 12, с. 34-37.
  27. Превентивное шлифование рельсов для снижения уровня шума. «Железные дороги мира» – 2011, № 12, с. 63-66.
  28. Малошумный путь. «Железные дороги мира»/ Пер D. Thompson, C. Jones. Railway Gazette International. 2002, № 7, р. 363 – 366.
  29. Звукоизолирующий экран на шейке рельса. «Железные дороги мира» – 2011, № 3, стр. 75-77.
  30. Н.И. Иванов, Н.Г. Семенов, Н.В. Тюрина. Акустические экраны для снижения шума в жилой застройке. Приложение к журналу «Безопасность жизнедеятельности», апрель №4/2012, 24 с.
  31. ГОСТ Р 54931-2012. Экраны акустические для железнодорожного транспорта. Технические требования.
  32. ГОСТ Р 54932-2012. Экраны акустические для железнодорожного транспорта. Методы контроля.
  33. Куклин Д.А., Тюрина Н.В. Исследования акустических экранов для снижения шума поездов. Безопасность жизнедеятельности: научно-практический и учебно-методический журнал – М.: Изд-во «Новые технологии», 2009. —№8. с. 9-12.