

Технические решения по снижению шума от высокоскоростных железнодорожных магистралей



Т. С. Титова,
д-р техн. наук,
профессор Петербургского
государственного
университета путей
сообщения Императора
Александра I



А. Е. Шашурин,
канд. техн. наук,
доцент Балтийского
государственного
технического университета
(БГТУ) «ВОЕНМЕХ»
им. Д. Ф. Устинова



Ю. С. Бойко,
аспирант БГТУ
«ВОЕНМЕХ»
им. Д. Ф. Устинова

До 2014 г. российских методик и документов, регламентирующих алгоритм расчета уровня шума поездов, способных развивать скорость более 250 км/ч, не было. Сегодня их разработка приобрела особую актуальность в связи с планами запуска к 2018 г. первой в России высокоскоростной магистрали Москва – Казань. Рассмотрены основные технические решения, устанавливающие комплексные требования к организации шумозащитных мероприятий при движении высокоскоростных поездов.

Шум от поездов, движущихся со скоростью до 250 км/ч, в зависимости от спецификации железнодорожного состава, складывается в основном из шума качения (система «колесо – рельс») и шума двигателя, характеризующегося его мощностью и создаваемой силой тяги поезда, а также вспомогательных систем поезда (например, системы вентиляции и кондиционирования вагонов).

У высокоскоростных поездов (скорость более 250 км/ч) доминирует аэродинамический шум, который включает в себя:

- шум турбулентных потоков воздуха, возникающий в результате сопротивления воздушных масс движению поезда;
- шум токоприемника.

Кроме того, источниками шума могут быть межвагонное пространство, вентиляционные решетки, выступы (дверные ручки, ступени и т. д.) и полости, которые могут вызывать резонансные отклики. При проектировании акустических экранов (АЭ) следует обращать особое внимание на источники, расположенные в верхней части поезда.

До сих пор российских методик и документов, регламентирующих алгоритм расчета уровня шума высокоскоростных поездов, а также соответствующих требований к организации шумозащитных мероприятий не было.

Специальные технические условия

Для решения указанных проблем – прогнозирования изменений акустической обстановки после организации высокоскоростного движения в России

и безопасной установки АЭ вдоль высокоскоростных магистралей (ВСМ) с выполнением необходимых требований к их эксплуатации – разработан новый нормативный документ. Это специальные технические условия (СТУ) «Шумозащитные мероприятия для участка Москва – Казань высокоскоростной железнодорожной магистрали Москва – Казань – Екатеринбург. Технические нормы и требования к проектированию и строительству» [1].

СТУ подготовлены на основе отечественных нормативных документов по расчетам и снижению шума железнодорожного транспорта, разработанных БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова и Научно-исследовательским институтом строительной физики Российской академии архитектуры и строительных наук, с учетом опыта этих организаций по снижению шума железнодорожного транспорта АЭ. Кроме того, был учтен опыт, полученный во Франции, Германии, Японии, Италии, Испании, Южной Корее и других странах при испытаниях высокоскоростных (до 400 км/ч) поездов и разработке необходимой шумозащиты.

В СТУ предложены технические решения по следующим основным задачам исследования:

- выработка методики проведения расчета шумовых характеристик поездов;
- построение оперативных карт шума;
- выбор необходимого средства защиты от шума;
- разработка требований к шумозащитным конструкциям;

- определение аэродинамических нагрузок на АЭ;
- размещение и монтаж АЭ (в том числе фундаментов, конструкции, заземления, молниезащиты);
- обеспечение акустической эффективности экрана;
- разработка методов контроля АЭ.

Далее представлено описание технических решений по снижению шума от ВСМ согласно описанной структуре СТУ.

Методика расчета шумовых характеристик поездов

При современных темпах развития транспортной сети разработка математической модели шумообразования на ВСМ чрезвычайно актуальна для оценки акустической обстановки селитебной территории. При проектировании ВСМ необходимо выполнить предварительные акустические расчеты, дающие возможность оценить предполагаемое шумовое воздействие на прилегающие селитебные территории. В отсутствие утвержденных отечественных методик на этапе разработки СТУ был выполнен анализ существующих зарубежных документов.

В методике DOT/FRA/ORD-12/15 «High-Speed Ground Transportation Noise and Vibration Impact Assessment» («Оценка воздействия шума и вибрации высокоскоростного наземного транспорта»), разработанной в Вашингтоне Федеральным Управлением по железным дорогам в 2012 г. (DOT/FRA/ORD-12/15), представлен алгоритм расчета уровня шума от ВСМ на основе экспериментальной базы следующих поездов: TGV (Франция, 320 км/ч), Eurostar (Великобритания, Франция, Бельгия, 300 км/ч), KTX-I/KTX-II (Южная Корея, 305 км/ч), ETR 500 (Италия, 350 км/ч). Таким образом, с помощью указанной модели расчета можно прогнозировать уровень шума, используя международный опыт, который включает и натурные измерения в странах с наиболее развитым высокоскоростным движением поездов.

Кроме того, были проанализированы методики, предлагаемые в Японии, Германии, Франции и в других странах. В результате выявлен ряд недостатков. Главный из них: указанные методики применимы только для поездов, эксплуатируемых в конкретной стране. Методика расчета, представленная в DOT/FRA/ORD-12/15, в качестве обоснования

своей достоверности показывает результаты расчетов с высокой сходимостью для различных моделей поездов.

Расчет шума на примыкающей территории выполняют с целью оценки шума на селитебной территории в соответствии с санитарными нормами, утвержденными Госкомсанэпиднадзором России: СН 2.2.4/2.1.8.562–96 «Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки», определение санитарных разрывов для железнодорожных магистралей – в соответствии с санитарными правилами и нормами СанПиН 2.2.1/2.1.1.1200–03 (с изменениями) «Санитарно-защитные зоны и санитарная классификация предприятий, сооружений и иных объектов», утвержденными постановлением Главного санитарного врача РФ, составление оперативных шумовых карт – по ГОСТ Р 53187-2008 и разработке шумозащитных мероприятий [1].

Расчет шума проводят исходя из шумовых характеристик потоков железнодорожных поездов с учетом снижения шума на пути распространения, в том числе вследствие геометрической дивергенции, поглощения звука атмосферой, поверхностью грунта, ограничения угла видимости, затухания звука в жилой застройке, влияния экранирующих сооружений и зеленых насаждений, отражения звука от зданий.

Приведем шумовые характеристики потоков железнодорожного транспорта: эквивалентный L_{Aeq25} , эквивалентный за время оценки $L_{Aeq25,k}$, максимальный L_{Amax25} и максимальный за время оценки $L_{Amax25,k}$ уровни звука А (далее – уровни звука), эквивалентные за время оценки уровни звукового давления $L_{Aeq25,k}$ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами от 63 до 8000 Гц, определяемые в соответствии с ГОСТ 20444 на расстоянии 25 м от оси ближнего магистрального железнодорожного пути на высоте 1,5 м от поверхности земли.

Для высокоскоростного железнодорожного транспорта введена дополнительная шумовая характеристика поезда, называемая уровнем SEL (Sound Exposure Level). Это уровень экспозиции шума, который описывает общее воздействие шума от одиночного события (проезда поезда) на рассматриваемую точку. Таким образом, SEL представлен общей A -взвешенной звуковой энергией в течение рассматриваемого события, нормированной на односекундный интервал.

Эквивалентный и максимальный уровни звука для скоростных, пассажирских и контейнерных поездов определяются в соответствии с ГОСТ Р 54933. Дополнительно в расчет включаются коррекция на тип пути, тип тормозов, характер движения (торможение и ускорение), прохождение стрелок и железнодорожных мостов. При определении максимальных значений шумовых характеристик учитывают звуковые сигналы, подаваемые поездами на рассматриваемом участке пути.

Эквивалентный и максимальный уровни звука для высокоскоростных поездов определяются согласно методике DOT/FRA/ORD-12/15. Расчеты приводятся к единицам измерения, используемым в РФ и представленным в СТУ: км/ч, м.

Метод основан на сравнении эталонных («референтных») значений уровней звука высокоскоростных поездов (полученных на базе натуральных измерений) с измененными условиями конкретной задачи, где отличными параметрами являются: длина и скорость поезда, количество вагонов и локомотивов и пр.

При расчете шум разделяют на три основные группы:

- шум двигателя;
- механический шум;
- аэродинамический шум.

В свою очередь, аэродинамический шум подразделяется на следующие составляющие:

- шум пантографа;
- аэродинамический шум турбулентных потоков у носовой части поезда;
- шум в нижней части поезда, в том числе в области колес и подвагонного пространства.

Указанная методика впервые дает возможность рассчитывать эффективность экрана в зависимости от вклада каждого источника шума и его высоты, что важно, например, при учете шума от токоприемника, который находится на высоте 4–5 м.

После расчета уровня звука от SEL_N^N каждого отдельного источника на расстоянии 15 м рассчитывается уровень звука (SEL_D^N) на расстоянии D от источника с учетом снижения шума при распространении на местности и вследствие использования акустического экрана. Далее путем логарифмического суммирования всех источников рассчитывается общий уровень шума; эквивалентный с учетом интенсивности движения поездов за оцениваемый проме-

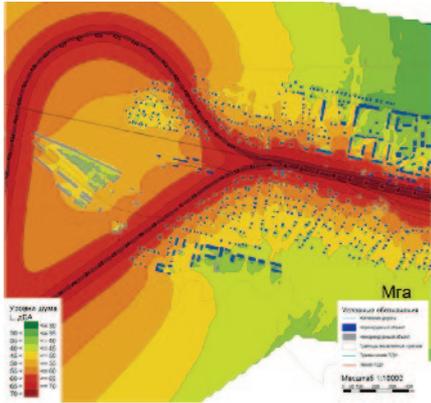


Рис. 1. Пример оперативной карты шума



Рис. 2. Высокоскоростная железнодорожная линия с шумозащитным экраном

жуток времени – день (16 ч)/ночь (8 ч).

Максимальный уровень шума аналогично рассчитывается для каждого источника. В отличие от эквивалентного он представляет собой максимальное значение из максимальных. В отечественных методиках такой подход используется в Российском ГОСТ Р 54933-2012 «Шум. Методы расчета уровней внешнего шума, излучаемого железнодорожным транспортом».

Построение оперативных карт шума

Карты шума – наиболее удобный источник информации об акустической ситуации на территории городов и действенный инструмент контроля шума и борьбы с ним. Законодательная база для создания карт шума была определена Директивой 2002/49/ЕС. Согласно Директиве карты шума должны содержать информацию о существующей или прогнозируемой акустической обстановке, превышении нормативных значений уровня шума, а также о количестве жилых домов, больниц, школ и других нормируемых объектов, расположенных на рассматриваемом участке. В соответствии с европейским законодательством карты шума должны быть составлены для всех железных дорог с интенсивностью движения более 30 тыс. поездов в год.

В России составление карт шума в составе проектов строительства и ре-

конструкции объектов – одно из основных требований действующих строительных норм и правил (СНиП 23-03-2003 «Защита от шума» и их актуализированной версии СП 51.13330.2011).

Оперативные карты шума примагистральной территории могут быть представлены в виде [1]:

- графических карт;
- табличных данных;
- цифровых данных в электронном виде.

Для разработки карты шума на планировочную подоснову территории с нанесенными на нее железнодорожными магистралями, жилыми и прочими объектами наносят контуры равных значений показателя шума, построенные с шагом 5 дБА (дБ). Границы зон обозначаются их верхними и нижними пределами, а зоны выделяют различными цветами в зависимости от уровня шума. На оперативной карте шума следует выделять линию, которая соответствует допустимому уровню, установленному для территории жилой застройки, в дневное время оценки и для суточного показателя шума 55 дБА, в ночное время оценки – 45 дБА [1].

Для оценки зоны санитарного разрыва железнодорожной магистрали строят для расчетных точек, расположенных на площадках отдыха микрорайонов и групп жилых домов, на площадках детских дошкольных учреждений, на участках школ и больниц, на высоте 1,5 м от поверхности земли в соответствии с ГОСТ 23337-78 [1].

Пример оперативной карты шума для селитебной территории [2] представлен на рис. 1.

Если вблизи железнодорожных пу-

тей находятся другие источники, уровни создаваемого ими шума рассчитывают согласно ГОСТ 31295.2-2005 и учитывают как фоновые уровни воздействия [1]

Выбор средств защиты от шума

Для снижения шума от ВСМ проводят ряд мероприятий:

- установку АЭ;
- сооружение искусственных выемок или насыпей;
- звукоизолирующее остекление в защищаемых зданиях;
- реализацию принципа снижения шума в источнике.

Принцип снижения шума в источнике реализуется по следующим направлениям:

- акустическое шлифование рельсов;
- применение вибродемпфирующих накладок на шейку рельса;
- нанесение на шейку рельса, тележку и колеса виброшумопоглощающей мастики;
- использование подрельсовых и подпальных подкладок;
- нанесение слоя алюминия на тормозные диски;
- обточка бандажей колес.

На рис. 2 представлена действующая высокоскоростная линия с установленным шумозащитным экраном.

На рис. 3 представлен вариант установки шумозащитного экрана парусообразной формы по обе стороны железной дороги.

Разработчикам подвижного состава и проектировщикам шумозащитных устройств необходимо выработать общие конструкционные решения при проектировании подвижного состава для ВСМ и звукопоглощающих элемен-



Рис. 3. Шумозащитный экран парусообразной формы по обе стороны железной дороги

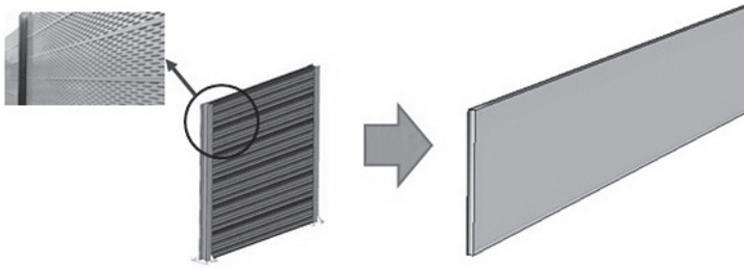


Рис. 4. Упрощенная модель акустического экрана

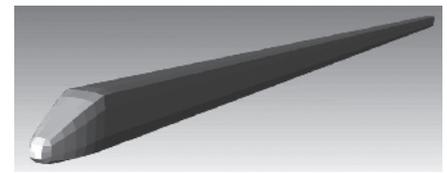


Рис. 6. Упрощенная модель поезда



Рис. 5. Общий вид высокоскоростного поезда

тов, установленных на пути, для совместной работы по подавлению шума: взаимному отражению и поглощению шума специальными элементами обшивки кузовов вагонов, деталями тележек и элементами на пути [1].

Требования к шумозащитным конструкциям
Аэродинамические нагрузки на акустический экран

Расчет элементов экрана следует вести с учетом условий его эксплуатации, т. е. с учетом не только постоянных нагрузок – ветрового давления и весовой нагрузки, но и значительных аэродинамических нагрузок, возникающих при движении вблизи экрана поезда на большой скорости.

В ходе разработки СТУ рассмотрена методика проведения вычислительного моделирования для определения аэродинамического воздействия проходящего высокоскоростного поезда на конструкцию шумозащитного экрана, определены предельные нагрузки, которые воспринимает шумозащитный экран в заданных условиях. Исходные данные для проведения расчетов – информация о размерах и форме шумозащитных экранов и о расстоянии от оси пути до экранов.

Вычислительный эксперимент проводили по этапам:

- построение геометрических и сеточных моделей;
- определение математической модели;

- расчет или серия расчетов, последующая обработка и анализ результатов как интегрированными средствами визуализации расчетного модуля, так и специальными программами постобработки.

Геометрические модели создавали в специализированных программах Space Claim и Unigraphics NX. Для построения расчетных сеток использовали программы Gambit и ANSYS ICEM CFD, с помощью которых можно проводить расчеты на динамических перестраиваемых структурированных сетках.

В расчетах использовали упрощенную модель экрана в виде прямоуголь-

ного щита высотой 6 м, длиной 100 м, толщиной 0,2 м (рис. 4).

Были построены геометрические модели для различных положений экрана относительно оси путей. Так, рассматривались случаи с различными расстояниями между осью экрана и осью поезда, а также случаи с двумя экранами, установленными параллельно. Модель поезда принимали упрощенной (рис. 5, 6), т. е. без зазоров между вагонами, без колес и механизмов в подвагонном пространстве, без токоприемников. Предполагается, что роль указанных элементов в аэродинамическом воздействии на конструкции ограждений невелика.

Решение задачи предусматривает расчет трехмерного нестационарного движения модели поезда по горизонтальной поверхности вдоль модели шумозащитного экрана конечной длины с использованием метода динамического перестроения сетки. Построены эпюры распределения давления (рис. 7).

Для построенных моделей были проведены расчеты, в которых скорость движения поезда принималась равной 200, 250, 300, 350 и 400 км/ч. Для моделей с двумя установленными экранами

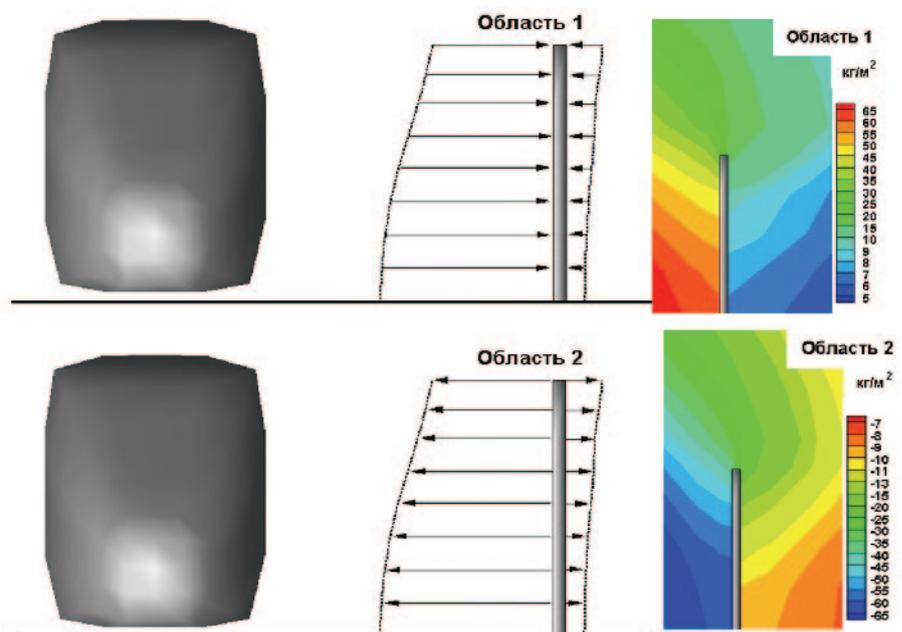


Рис. 7. Эпюры распределения давления

расчет выполнен при скорости движения поезда 400 км/ч.

На основании расчетов можно сделать выводы об аэродинамическом воздействии проходящего высокоскоростного поезда на акустические экраны и определить численно максимально возможные нагрузки, чтобы использовать их значения при расчете и проектировании акустических экранов на ВСМ.

Для инженерных расчетов при проектировании экрана величину дополнительной аэродинамической нагрузки допускается принимать согласно графику (рис. 8) либо на основании специальных расчетов, выполненных проектной организацией. Величина дополнительной аэродинамической нагрузки зависит от расстояния L между осью поезда и осью акустического экрана и от расчетной скорости поезда на участке проектирования, а также от наличия экрана с противоположной стороны.

При проектировании двух экранов, находящихся друг напротив друга, при расчете прочности и устойчивости каждого из них величина аэродинамического давления (рис. 8) принимается по верхнему графику [1].

Размещение и монтаж акустических экранов

Акустический экран для ВСМ состоит из следующих основных элементов:

- несущих элементов конструкции – металлических стоек и фундамента (в случае размещения экрана на естественном основании);
- шумозащитного заполнения – акустических панелей;
- элементов заземления конструкции.

Фундамент – часть АЭ, воспринимающая основные нагрузки на экран и распределяющая их на основание (земляное полотно). Фундамент экрана может иметь различные конструктивные и технологические характеристики в зависимости от места установки и геологического строения основания. При установке АЭ на искусственных сооружениях (мосты, подпорные стены и пр.) роль фундамента выполняют элементы конструкции, на которой устанавливается экран. Нагрузки, передающиеся от экрана, должны быть учтены при проектировании таких элементов.

Стойки экрана, которые могут иметь любую форму согласно архитектурному проекту и конструкционным возможностям применяемых элемен-

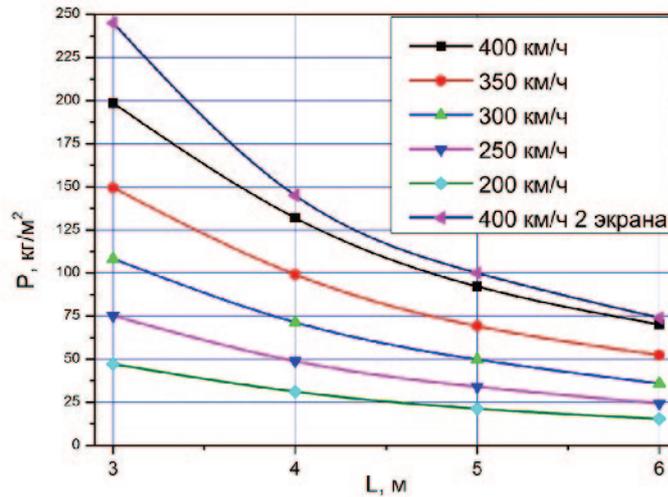


Рис. 8. Определение дополнительной аэродинамической нагрузки на акустический экран

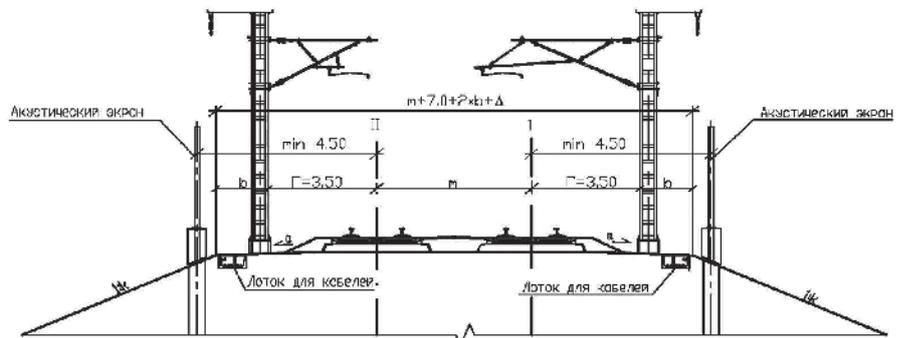


Рис. 9. Схема размещения акустических экранов на проектируемом земляном полотне

тов экрана, располагаются в вертикальном либо наклонном положении в зависимости от продольных и поперечных уклонов.

Акустические панели, которые могут быть выполнены из различных материалов и в той или иной цветовой гамме в зависимости от архитектурного проекта, обычно монтируются с помощью дополнительных элементов между стойками.

Элементы заземления конструкции должны быть предусмотрены согласно требованиям «Инструкции по заземлению устройств электроснабжения на электрифицированных железных дорогах» ЦЭ-191 от 10 июня 1993 г.

Акустический экран и его основные составляющие могут быть снабжены дополнительными элементами: уплотнителями, крепежными деталями, поручнями и др.

Минимальное расстояние от оси пути до АЭ 4,5 м в свету, максимальное расстояние от оси пути до АЭ определяется проектом и зависит от необходимой акустической эффективности экрана при его минимально возможной высоте и безопасности движения поезда с расчетной скоростью и от размещенных

в пределах основной площадки земляного полотна элементов железнодорожной инфраструктуры (опор КС, кабельных лотков, напольного оборудования и т. д.). Схема размещения АЭ на проектируемом земляном полотне приведена на рис. 9 [1].

Обеспечение акустической эффективности экрана

Согласно СТУ требуемую акустическую эффективность экрана следует обеспечивать при его проектировании за счет правильного выбора его основных параметров – высоты, длины, конструктивного решения его верхней части, применения в панелях звукопоглощающих материалов, целостности конструкции АЭ (не допускаются щели и отверстия), а также за счет его рационального положения относительно железной дороги и защищаемых объектов согласно ГОСТ Р 54931-2012 «Экраны акустические для железнодорожного транспорта. Технические требования» [3].

Высоту АЭ следует выбирать с учетом высоты железнодорожного полотна, высоты защищаемых объектов и их положения относительно железной дороги [1].

В технической документации на акустические панели должны быть заявлены значения звукоизоляции R_d и коэффициента звукопоглощения α_d панелей отражающе-поглощающих АЭ в октавных полосах со среднегеометрическими частотами 125, 250, 500, 1000, 2000, 4000 и 8000 Гц, а также соответствующие им значения суммарной стандартной неопределенности u_c [1].

Методы контроля акустических экранов

Основные положения СТУ приведены в соответствии с ГОСТ Р 54932-2012 «Экраны акустические для железнодорожного транспорта. Методы контроля» [4] с учетом динамических воздействий. Отметим, что в СТУ предусмотрены дополнительные испытания – вибрационные испытания панелей АЭ с циклическим нагружением.

Кроме того, мы использовали СТО РЖД 1.07.007-2010 «Экраны акустические для железнодорожного транспорта. Правила приемки и ввода в эксплуатацию и обследования в процессе жизненного цикла» [5].

Контроль звукоизоляции, звукопоглощения панелей, акустической эффективности должен проводиться в соответствии с ГОСТ Р 54932-2012 [4].

Все средства измерений должны быть утвержденного типа, к ним должны прилагаться свидетельства о поверке, испытательное оборудование должно быть аттестовано [1].

Заключение

Разработанные СТУ дают возможность решать многие технические задачи по снижению шума от ВСМ: от расчета шумовых характеристик поездов до метода контроля АЭ и других средств вибро- и шумозащиты.

Рассматриваемые специальные технические условия разработаны с учетом зарубежного опыта и предлагают оптимальный вариант разработки шумозащитных мероприятий при строительстве ВСМ. Чрезвычайно важную часть документа составляют расчетные аэродинамические нагрузки, которые резко возрастают с превышением поездом скорости движения 250 км/ч. ■

Литература

1. СТУ «Шумозащитные мероприятия для участка Москва – Казань высокоскоростной железнодорожной магистрали Москва – Казань – Екатеринбург. Технические нормы и требования к проектированию и строительству».
2. Буторина М. В. Карты шума оперативные для железнодорожного транспорта: общие требования и методы построения // Защита от повышенного шума и вибрации / под ред. Н.И. Иванова: Сб. докл. Всерос. науч.-практич. конф. с междунар. участием, 18–20 марта 2015 г. СПб., 2015. С. 106–114.
3. ГОСТ Р 54931-2012. Экраны акустические для железнодорожного транспорта. Технические требования.
4. ГОСТ Р 54932-2012. Экраны акустические для железнодорожного транспорта. Методы контроля.
5. СТО РЖД 1.07.007-2010 «Экраны акустические для железнодорожного транспорта. Правила приемки и ввода в эксплуатацию и обследования в процессе жизненного цикла».
6. ГОСТ Р 54933-2012. Шум. Методы расчета уровней внешнего шума, излучаемого железнодорожным транспортом.

В рамках проекта Партии «ЕДИНАЯ РОССИЯ»
«Санкт-Петербург – морская столица России»




VIII МЕЖДУНАРОДНЫЙ ФОРУМ «ТРАНСПОРТНО-ТРАНЗИТНЫЙ ПОТЕНЦИАЛ»

Crowne Plaza St. Petersburg Airport
Россия, г. Санкт-Петербург,
ул. Стартовая, 6А

1-2 октября 2015



Оператор
форума

тел. +7 (812) 327-93-70
www.confspb.ru

При
поддержке



