

ПРОВЕДЕНИЕ ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ ВЕТРОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ШУМОЗАЩИТНЫЕ ЭКРАНЫ ВБЛИЗИ ВЫСОКОСКОРОСТНЫХ ЖЕЛЕЗНЫХ ДОРОГ



О.И. Поддаева



Е.С. Ашпиз

Рассмотрен вопрос исследования ветровых нагрузок на шумозащитные экраны вблизи высокоскоростных железных дорог. Обоснована невозможность использования при проектировании объектов инфраструктуры высокоскоростных железных дорог зарубежной нормативной базы.

Ключевые слова: аэродинамика, ветровое воздействие, высокоскоростная железная дорога, шумозащитные экраны

EDN: OOPWUB

Железнодорожные сети имеют стратегическое значение для России, занимая огромный объем рынка как пассажирских, так и грузовых перевозок. На территории РФ, которая занимает 3-е место по общей длине железнодорожных путей, после США и Китая, на долю железнодорожного транспорта отведено около 45% всех грузовых перевозок в стране [1]. Особенно востребованным данный вид

транспорта является для тех регионов, в которых плохо развит автомобильный и водный транспорт.

Постоянно растущая транспортная активность населения и увеличивающийся объем грузовых перевозок требуют постоянного совершенствования структуры железнодорожной сети, а также повышения эффективности данной системы в целом. Важным направлением развития современного железнодо-

Поддаева Ольга Игоревна, кандидат технических наук, доцент, заведующий Учебно-научно-производственной лабораторией по аэродинамическим и аэроакустическим испытаниям строительных конструкций Национального исследовательского Московского государственного строительного университета (НИУ МГСУ). Область научных интересов: аэродинамика зданий и сооружений, колебания плоских элементов конструкций. Автор более 110 научных работ, в том числе двух монографий и трех учебных пособий. Имеет восемь патентов на изобретения.

Ашпиз Евгений Самуилович, доктор технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Путь и путевое хозяйство» Института пути, строительства и сооружений Российского университета транспорта (ИПСС РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: земляное полотно железнодорожного пути, организация и проведение ремонтных работ для железнодорожного пути, нормативно-технические параметры обеспечения безопасной эксплуатации железнодорожного пути. Автор 83 научных работ, в том числе трех монографий и трех учебников. Имеет четыре патента на изобретения.

Федосова Анастасия Николаевна, кандидат технических наук, старший научный сотрудник Учебно-научно-производственной лаборатории по аэродинамическим и аэроакустическим испытаниям строительных конструкций Национального исследовательского Московского государственного строительного университета (НИУ МГСУ), доцент Российского государственного аграрного университета – МСХА имени К.А.Тимирязева (РГАУ–МСХА имени К.А. Тимирязева). Область научных интересов: аэродинамика зданий и сооружений, колебания строительных конструкций, испытывающих динамические воздействия. Автор 42 научных работ, в том числе одной монографии. Имеет четыре патента на изобретения.

Грибач Юлия Сергеевна, инженер Учебно-научно-производственной лаборатории по аэродинамическим и аэроакустическим испытаниям строительных конструкций Национального исследовательского Московского государственного строительного университета (НИУ МГСУ). Область научных интересов: аэродинамика зданий и сооружений. Автор 27 научных работ.

рожного транспорта является увеличение скоростей экипажей, количества искусственных сооружений, плотности застройки и отношения площади дорожной сети к общей площади города. Реализация высокоскоростного движения непосредственно связана с увеличением надежности и безопасности железной дороги в целом. Изменение тех или иных параметров приводит к необходимости учета ряда факторов, влияние которых ранее не учитывалось. К таковым факторам можно отнести ветровое воздействие на объекты транспортной инфраструктуры, а также на верхнее строение пути [2;3].

Шумозащитный экран является одним из самых распространенных объектов инфраструктуры, строящихся вблизи железной дороги. Конструктивно шумозащитный экран представляет собой панель материала, которая закрепляется на металлические стойки и крепится к фундаменту [4]. Высота шумозащитного экрана меняется в зависимости от требований по снижению шума, обычно составляет 2–6 метра.

Поэтому одним из важнейших направлений является исследование влияния ветрового воздействия на объекты железнодорожной инфраструктуры, к числу которых можно отнести шумозащитные экраны [5]. При проектировании высокоскоростных магистралей отдельным вопросом, который стоит перед проектировщиками, является взаимодействие высокоскоростного поезда и шумозащитного экрана. Поскольку шумозащитный экран находится в непосредственной близости от железнодорожного полотна и имеет размеры, позволяющие оказывать большое влияние на местные ветровые потоки.

Российские нормы проектирования не в полной мере регламентируют проектирование, строительство и эксплуатацию высокоскоростных линий. В 2018 году был утвержден свод правил [6], который частично регламентирует расчет шумозащитных экранов. В [6] рассматривается расчетная ситуация, при которой на шумозащитный экран действует только поток воздуха, но не рассматриваются ситуации, при которых воздушный поток воздействует на шумозащитный экран при обтекании высокоскоростного поезда.

Применение зарубежных требований на территории РФ не представляется возможным ввиду следующих причин [7]:

- российские стандарты в области надежности отличаются от зарубежных;
- ширина колеи в России больше, вследствие чего поезд более устойчив к опрокидыванию;
- в России высокоскоростные поезда обычно проходят рядом с обычными пассажирскими и грузовыми поездами.

В связи с отсутствием в общедоступных источниках информации по исследованию расчетной ситуации взаимодействия объектов инфраструктуры с высокоскоростным поездом было проведено экспериментальное исследование с целью выявления разницы между значениями ветровой нагрузки, полученными в результате аналитического расчета по нормативным документам и полученными в результате физического моделирования [8–10].

В данной работе представлены результаты физических экспериментов в большой исследовательской градиентной аэродинамической трубе с различными направлениями воздушного потока на шумозащитный экран [11;12] при обтекании высокоскоростного поезда. Задача рассматривалась статической, т.е. поезд оставался неподвижным. Шумозащитный экран по своей длине принят много больше длины поезда. Для сравнения изменений обтекания воздушным потоком поезда был проведен эксперимент в отсутствие поезда.

В качестве модели для исследования была принята модель Г-образного шумозащитного экрана. Такой вид шумозащитного экрана является одним из наиболее эффективных с точки зрения соотношения высоты шумозащитного экрана к количеству отраженного шума (рис. 1).



Рис. 1. Профиль шумозащитного экрана

Моделью поезда был выбран AVE класс 103 (рис. 2). На базе семейства данных поездов был построен электропоезд «Сапсан».

Масштаб модели шумозащитного экрана и поезда были выбраны 1:50. Такой масштаб связан с размерами поворотного стола в аэродинамической трубе, ограничениями трубы. Модель поезда состояла из локомотива и одного вагона, с сохранением их геометрически обтекаемой формы. Сама модель была изготовлена из массива ПВХ при помощи 3D-фрезеровки с ЧПУ. На фрезеровочном станке выпиливались «слои» модели после чего они склеивались между собой. Вся модель шлифовалась для придания обтекаемой формы (рис. 3).

Для изготовления шумозащитного экрана сначала были сделаны направляющие стойки на лазерном станке, а также две панели, вырезанные из фанеры толщиной 4 мм. На направляющие стойки при помощи клея ПВА крепились панели, одна к вертикальной части, другая к наклонной. Расстояние между стойками составило 100 мм, что соответствует реальным значениям в 5 м. Далее между стойками в панелях делались отверстия для установки трубок приема давления с поверхности экрана. Всего было сделано 108 контрольных точек. Алюминиевым скотчем проклеивались стыки между панелями для исключения влияния зазоров на результаты экспериментов (рис. 4).

Для оценки нагрузок был проведен ряд экспериментов в большой градиентной аэродинамической трубе. Значения давления на поверхности шумозащитного экрана измерялась при помощи датчиков дифференциального давления [13–15]. Аэродинамическое давление вычислялось для следующих расчетных ситуаций:

1. Модель шумозащитного экрана, без модели высокоскоростного поезда. Данная модель была выбрана в качестве эталонной.

2. Модель шумозащитного экрана и модель высокоскоростного поезда, расположенные перпендикулярно потоку.

3. Модель шумозащитного экрана и модель высокоскоростного поезда, расположенные под углом 30°.

4. Модель шумозащитного экрана и модель высокоскоростного поезда, расположенные под углом 60°.

5. Модель шумозащитного экрана и модель высокоскоростного поезда, расположенные параллельно потоку.

Обе модели жестко крепились к основанию трубы при помощи уголков. Силиконовые трубки спускались в специальное отверстие позади моделей. Датчики очень чувствительны к колебаниям силиконовых трубок, поэтому они были зафиксированы при помощи скотча к обратной стороне шумозащитного экрана и полу [16;17]. Скорость потока во всех экспериментах была 15 м/с. Расстояние между поездом и дорожным полотном в таких масштабах будет составлять доли миллиметра, поэтому им можно пренебречь. Расстояние между поездом и шумозащитным экраном взято 80 мм, что соответствует в масштабе максимальному расстоянию 4 м согласно [6]. Загромождения в трубе составляют менее 10% от площади сечения трубы.

В результате эксперимента были получены осредненные значения давления в каждой контрольной точке для всех расчетных ситуаций. По формуле были вычислены значения лобового сопротивления [18;19]:

$$C_{pi} = \frac{2P_i}{\rho V_\infty^2}, \quad (1)$$

где P_i – давление в контрольной точке; ρ – давление в рабочей части; V – скорость потока.

Ниже приведены графики значений лобового сопротивления по длине шумозащитного экрана (рис. 5–9).



Рис. 2. Локомотив поезда AVE класс 103



Рис. 3. Модель локомотива

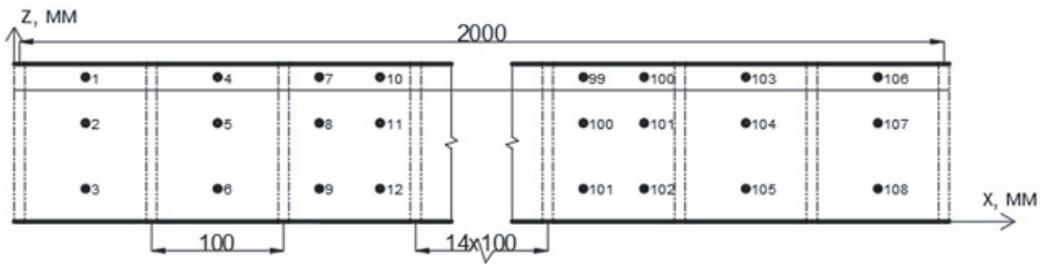


Рис. 4. Схема расположения контрольных точек

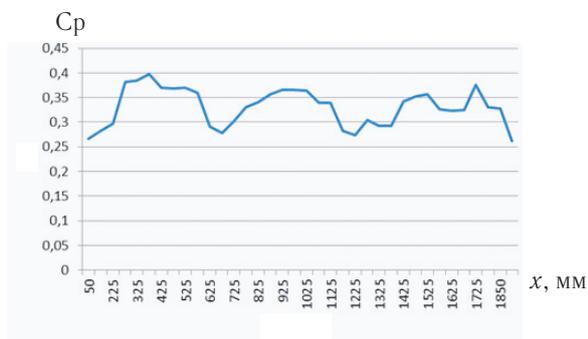


Рис. 5. Распределение коэффициента лобового сопротивления по длине шумозащитного экрана при 1-й расчетной ситуации в средних точках



Рис. 6. Распределение коэффициента лобового сопротивления по длине шумозащитного экрана при 2-й расчетной ситуации в средних точках

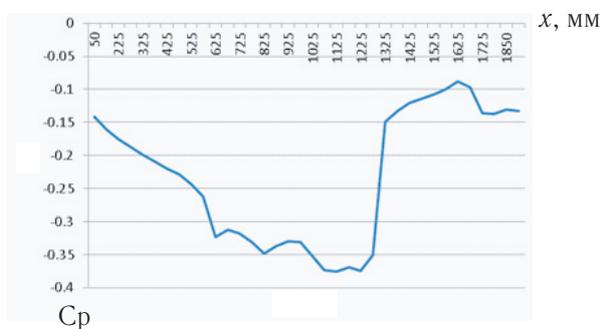


Рис. 7. Распределение коэффициента лобового сопротивления по длине шумозащитного экрана при 3-й расчетной ситуации в средних точках

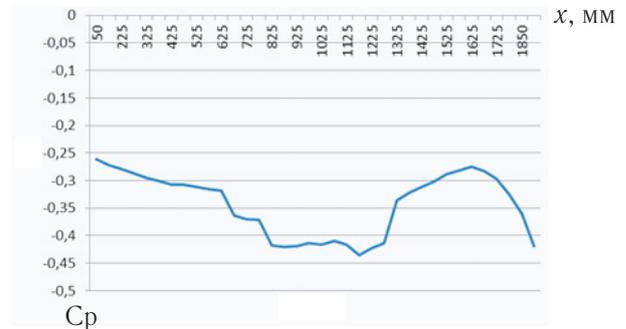


Рис. 8. Распределение коэффициента лобового сопротивления по длине шумозащитного экрана при 4-й расчетной ситуации в средних точках

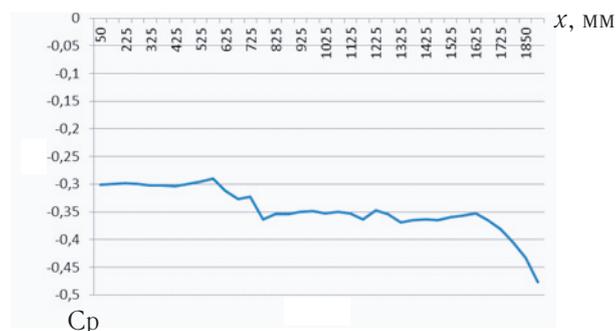


Рис. 9. Распределение коэффициента лобового сопротивления по длине шумозащитного экрана при 5-й расчетной ситуации в средних точках

В ходе проведения анализа полученных результатов было выявлено, что результаты для 1-й расчетной ситуации схожи с результатами, получаемыми при выполнении расчетов по нормативным документам [5].

Для 2-й и 3-й расчетных ситуаций (см. рис. 6–8), когда система «поезд-шумозащитный экран» расположена перпендикулярно потоку и под углами 30° и 60° , выявлены три зоны, в которых значения коэффициентов C_p различны, на что влияет обтекание поезда ветровым потоком.

Для 5-й расчетной ситуации, где система располагается параллельно потоку, выявлен иной характер распределения коэффициентов C_p . На данный характер распределения аэродинамических коэффициентов влияет форма задней части поезда.

На основании представленных результатов можно сделать вывод о том, что при проектировании шумозащитных экранов для обеспечения надежности конструкций необходимо учитывать не только внешнюю ветровую нагрузку, как климатическую составляющую, но и ветровую нагрузку от движущегося вблизи высокоскоростного поезда, который меняет направление воздушных потоков в значительной мере. Для определения количественных оценок необходимо провести дальнейшие исследования в данном направлении. 

Литература

1. Штанов, В. Экспорт каменного угля — главный драйвер роста грузоперевозок / В. Штанов. — Текст: электронный // Ведомости: [сайт]. — 2018. — 18 декабря. — URL: <https://www.vedomosti.ru/business/articles/2018/12/18/789521-eksport>.
2. Мирошниченко, А. А. Исследование воздушных потоков, возникающих вследствие прохождения железнодорожного состава, и рассмотрение возможности их использования / А. А. Мирошниченко, Е. В. Соломин. — Текст: непосредственный // Наука ЮУрГУ: материалы 70-й научной конференции Секции технических наук; отв. за выпуск А. А. Дьяконов. — Челябинск: Издательский центр ЮУрГУ, 2018. — С. 475–483.
3. Аэродинамическое воздействие скоростных поездов на объекты инфраструктуры ОАО «РЖД» / С. М. Каплунов, Н. Г. Вальес, Н. А. Махутов, С. И. Дубинский, В. А. Самсонов. — Текст: непосредственный // Бюллетень объединенного ученого совета ОАО «РЖД». — 2016. — № 1–2. — С. 47–57.
4. Айрбабамян, С. А. Виды шумозащитных экранов / С. А. Айрбабамян, Е. А. Бугарёв. — Текст: непосредственный // Известия МГТУ «МАМИ». — 2013. — Т. 4, № 1(15). — С. 134–138.
5. Аистов В. А. Исследование влияния формы шумозащитного экрана на его акустическую эффективность / В. А. Аистов, И. Л. Шубин. — Текст: непосредственный // Academia. Архитектура и строительство. — 2009. — № 5. — С. 200–208.
6. СП 338.1325800.2018. Защита от шума для высокоскоростных линий. Правила проектирования и строительства = High-speed railways noise protection. Design and construction regulations: Свод правил: издание официальное: утвержден приказом Министерства строительства и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации от 5 февраля 2018 г. N 69/пр: введен впервые: дата введения. 2018-06-08 / Разработан ООО «Институт акустических конструкций». — Москва: Стандартиформ, 2018. — 30 с. — Текст: непосредственный.
7. Назаров, О. Н. Научное обеспечение разработки нормативной базы и технологических решений для высокоскоростного движения в России / О. Н. Назаров, Д. Е. Кирюшин. — Текст: непосредственный // Электрификация транспорта. — 2014. — № 7. — С. 39–45.
8. Loktev D. A., Loktev A. A. Development of a user interface for an integrated system of video monitoring based on ontologies // Contemporary Engineering Sciences. 2015. T. 8. № 20. С. 789–797.
9. Loktev A. A. Dynamic contact of a spherical indenter and a prestressed orthotropic Uflyand-Mindlin plate // Acta Mechanica. 2011. T. 222. № 1–2. — С. 17–25.
10. Loktev A. A., Korolev V. V., Poddaeva O. I., Chernikov I. Y. U. Mathematical modeling of antenna-mast structures with aerodynamic effects // В сборнике: IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Vladivostok, 2018. С. 032018.
11. Локтев, А. А. Ударное взаимодействие твердого тела и упругой ортотропной пластинки / А. А. Локтев. — Текст: непосредственный // Механика композиционных материалов и конструкций. — 2005. — Т. 11, № 4. — С. 494–508.

12. Математическое моделирование аэродинамического поведения антенномачтовых сооружений при организации связи на железнодорожном транспорте / А.А. Локтев, В.В. Королев, О.И. Поддаева, К.Д. Степанов, И.Ю. Черников. – Текст: непосредственный // Вестник научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. – 2018. – Т.77, №2. – С. 77–83.

13. Моделирование мостотоннеля для пропуска легкового транспорта через объекты инфраструктуры / А.А. Локтев, В.П. Сычѳв, О.И. Поддаева, А.В. Потапов, Г.Н. Талашкин. – Текст: непосредственный // Наука и техника транспорта. – 2017. – № 1. – С. 73–78.

14. Loktev A., Korolev V., Shishkina I., Illarionova L., Loktev D., Gridasova E. Perspective constructions of bridge crossings on transport lines // Advances in Intelligent Systems and Computing (см. в книгах). 2020. Т. 1116 AISC. – С. 209–218.

15. Разработка систем информационного моделирования для управления объектами инфраструктуры железнодорожного транспорта на протяжении жизненного цикла / В.Н. Дмитриев, О.В. Дружинина, А.А. Локтев, Т.Н. Шеронова. – Текст: непосредственный // Транспорт: наука, техника, управление. Научный информационный сборник. – 2020. – №10. – С. 20–26.

16. Локтев, А.А. Решение задачи ударного взаимодействия твердого тела и сферической оболочки лучевым методом / А.А. Локтев, Д.А. Локтев. – Текст: непосредственный // Вестник Воронежского государственного университета. Серия: Физика. Математика. – 2007. – № 2. – С. 128–135.

17. Локтев, Д.А. Измерение расстояния до движущегося объекта с помощью комплексной системы видеомониторинга / Д.А. Локтев, А.Н. Алфимцев. – Текст: непосредственный // Инженерный журнал: наука и инновации. – 2013. – № 11(23). – С.4.

18. Повышение информативности оценки содержания железнодорожного пути / В.П. Сычѳв, А.А. Локтев, Д.А. Локтев, В.В. Виноградов. – Текст: непосредственный // Мир транспорта. – 2017. – Т.15. №2(69). – С. 20–31.

19. Loktev A., Korolev V., Shishkina I., Chernova L., Geluh P., Savin A., Loktev D. Modeling of railway track sections on approaches to constructive works and selection of track parameters for its normal functioning // Advances in Intelligent Systems and Computing (см. в книгах). – 2020. – Т.982. – С. 325–336.