

СПОСОБЫ ЗАЩИТЫ ОТ ШУМОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ НА ЖЕЛЕЗНОДОРОЖНОМ И ТРАМВАЙНОМ ТРАНСПОРТЕ



Л.А. Илларионова



А.А. Локтев

В статье представлены основные источники и способы защиты от транспортного шума, используемые в железнодорожной инфраструктуре. Были проанализированы часто встречающиеся решения на железной дороге, такие как шумозащитные экраны и рельсовые демпферы.

Ключевые слова: железнодорожный транспорт, городской транспорт, механические характеристики, структурный шум

EDN: JPYTQY

В настоящее время мы практически перегружены звуками. В данном исследовании уделяется большое внимание шумовому воздействию, которое является серьезной проблемой для окружающей среды и влияет на здоровье людей.

Причинами шумового загрязнения в городе является транспортный шум, в частности шум от железнодорожного и городского рельсового транспорта. Такой шум может иметь различные источники, например автомобили, поезда и самолеты.

Шумовое воздействие принято классифицировать в зависимости от их источника (промышленный шум, транспортный шум, городской шум, домашний

или рабочий шум). Наибольший вклад в общий уровень шумового загрязнения вносит транспортный шум [1].

Для борьбы с шумом требуется применение различных методов и подходов, включая звукопоглощающие материалы, зонирование и градостроительные меры. Эффективное управление шумом может привести к улучшению качества жизни людей и снижению риска возникновения проблем со здоровьем.

Данный научно-исследовательский материал представляет собой подробный анализ типов шумового воздействия и методов, которые могут быть использованы для его предотвращения и снижения. Это

Илларионова Лилия Алексеевна, кандидат технических наук, доцент кафедры «Здания и сооружения на транспорте» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: проектирование объектов транспортной инфраструктуры. Автор 30 научных работ.

Локтев Алексей Алексеевич, доктор физико-математических наук, профессор, заведующий кафедрой «Транспортное строительство» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: механика деформированного тела, моделирование объектов транспортной инфраструктуры, железнодорожный путь, реконструкция объектов исторического и архитектурного наследия. Автор 192 научных работ, в том числе трех монографий.

Локтев Даниил Алексеевич, доктор технических наук, профессор кафедры «Транспортное строительство» Российского университета транспорта (РУТ (МИИТ)), профессор кафедры «Информационные системы и телекоммуникации» Московского государственного технического университета имени Н.Э. Баумана (Национальный исследовательский университет). Область научных интересов: механика деформируемого твердого тела, математическое моделирование, обработка изображений, интеллектуальные системы мониторинга, диагностики и измерений. Автор 162 научных работ, в том числе трех монографий и шести учебных пособий.

позволяет лучше понять проблему шумового загрязнения и разработать эффективные стратегии для борьбы с ним.

Что касается рельсового транспорта, то следует понимать, что его причины различны. Их можно разделить на: шум качения являющийся наиболее распространенным видом шумового воздействия. Он оказывает наибольшее влияние на общий уровень шума рельсов. Несмотря на небольшую площадь контакта колеса с рельсом (не более 1,5, см. [2]), этот шум является основной причиной железнодорожного шума. Шум качения в основном зависит от гофрировки рельса (неравномерности) внутри и также расположения дефектов на поверхности катания [2].

В скоростных поездах, основным источником шума является аэродинамический шум, который возникает вследствие аэродинамического сопротивления при передвижении поезда со скоростью выше 160–250 км/ч. Этот вид шума отличается от других видов железнодорожного шума тем, что он не связан с вибрациями твердых тел, а с движением элементов воздуха. Аэродинамическое сопротивление наиболее существенно зависит от скорости движения поезда, а также от основных физических факторов, таких как форма и высота вагонов. Однако, помимо аэродинамического шума, также существует традиционный шум, связанный с работой электрического двигателя или двигателя внутреннего сгорания [5].

Шум в традиционном представлении появляется из-за взаимодействия движущихся с различными скоростями элементов транспортного средства, а также шум вызывает изменения свойств в рабочей среды, например, температура, давление, объем и т.д.

Переход от шума тяги к шуму качения и от шума качения к аэродинамическому шуму в зависимости от скорости поезда показан на рис. 1.

В любом случае подавление шума связано с изменением энергии в единицу времени и наиболее явно проявляется в динамических процессах, например при разгоне, торможении изменении траектории и т.д. Например, участок со стрелочным переводом или кривая малого радиуса всегда вызывает больше шума, чем прямой участок пути [6].

Способы защиты от шумового загрязнения на железной дороге

В настоящее время, в связи с повышением осведомленности людей о вредном воздействии шума на здоровье, появляется все больше решений, снижающих уровень шума. Как эффективность, так и способ их применения различны и дают разные эффекты.

Одним из первых способов борьбы с шумом является модернизация подвижного состава. Он может

уменьшить шум до 8 дБ. Этого можно достичь в основном за счет замены стальных тормозных колодок композитными и установки колесных рессор или шумозащитных экранов тяговых устройств.

Вторая группа решений по шумоподавлению непосредственно связана с железнодорожным путем. В первую очередь — это поддержание железнодорожной инфраструктуры в хорошем состоянии, чего может быть обеспечено в основном за счет шлифования поверхности катания рельсов и применения рельсовых амортизаторных систем (для обеспечения лучшей упругости). Также важно заменить старые железнодорожные переезды на новые и отказаться от классического пути в пользу бесстыкового рельса [7]. Как модернизация, так и реконструкция имеют заметный эффект с точки зрения поглощения и подавления акустических помех, что также положительно сказывается на снижении уровня шума [8–10]. Простое шлифование рельсов способно снижать шум на 3 дБ.

Лubrикация соприкасающихся поверхностей наиболее часто используется на подъемах железнодорожного пути, в кривых малого радиуса, на участках переменной жесткости на искусственных сооружениях т.е. в местах изменения геометрических и механических свойств.

Что касается виброакустических изоляторов, то нужно знать, что существует широкий выбор различной продукции. Все они связаны одним принципом — подавляют вибрации. Выбор типа виброакустического изолятора зависит от используемого покрытия железной дороги и типа вибрации.

Рельсовые демпферы представляют собой элементы, входящие в состав поверхности железной

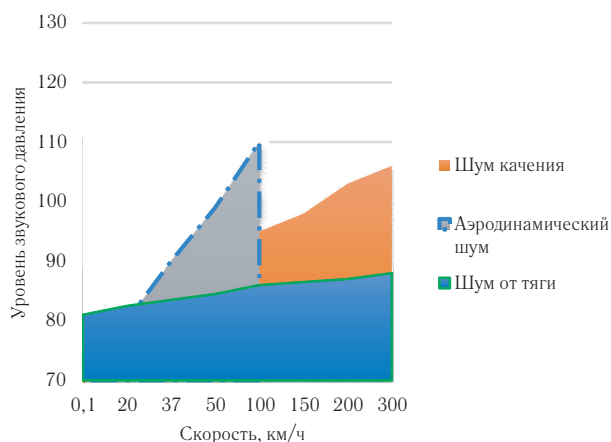


Рис. 1. Зависимость уровня звукового давления в различных диапазонах скоростей для подвижного состава

дороги. Их устанавливают на верхний слой шпал или на бетонные плиты. Сборка этих элементов происходит между рядами рельса, а также сбоку от направляющих рельса. Работа этих устройств основана на двух механизмах: поглощении и рассеянии звуковых волн.

Еще одним способом на пути распространения шума могут служить защитные экраны (рис. 2). Шумозащитные барьеры, являются также эффективным способом снижения уровня шума. Применяются монолитные и сборные конструкции, имеющие различные характеристики. Наиболее распространенные сборные конструктивные решения, в виде сочетания ряда горизонтальных панелей и вертикальных стоек [10;11].

Самым большим преимуществом такого метода является низкая занимаемая площадь. Этот метод позволяет уменьшить шум до 8–15 дБ (зависит от многих факторов, таких как: высота барьера, рельеф местности и т.д.). Эффективность во многом зависит от правильного проектирования и реализации.

К одному из защитных экранов можно отнести метод основанный на посадке растительности. Это, безусловно, самый визуально привлекательный метод, но его эффективность не очень высока. Данное решение способно уменьшить акустические помехи всего на 0,01–0,5 дБ в зависимости от типа используемой растительности (применимо к зеленой полосе шириной 1 м). Наиболее эффектны живые изгороди из хвойных.

Городской рельсовый транспорт также требует снижения шума, и как в первом случае, возможно использование шумозащитных экранов или рельсовые демпферов.

В трамвайной инфраструктуре чаще используются.

1. Трибологические смазки для колесных пар.
2. Лубрикация оголовков рельсов и колесных гребней.

3. Конструкция трамвайного пути построена по безбалластной схеме с использованием демпфирующих прокладок (рис. 3).

Для моделирования картины распространения акустических волн необходимо определить параметры источников шума и характеристик среды распространения звука как геометрическими, так и механическими факторами [11].

Концептуально приложение динамической нагрузки от подвижной нагрузки прикладывается в одной точке контакта колеса и рельса. Её можно представить в виде следующих графических зависимостей, которые содержат информацию о затухании деформирования с течением времени от областей нагружения и разгрузки, о первом и последующих нагружениях конструктивного основания и т.д. (рис.4).

В качестве источника шума чаще всего выступают подвижные элементы транспортного средства; механические параметры среды влияют на распространения волн через ее скорость с геометрическими параметрами; влияют на отражение, преломление, пропускание фронта волны и в целом позволяют прогнозировать области усиления и ослабления шума в той или иной точке вблизи магистрали.

В этом моделировании интенсивность источника звука и его распространение разделяются для анализа с использованием метода конечных элементов (МКЭ) [12]:



Рис. 2. Шумозащитные экраны



Рис. 3. Вариант безбалластной конструкции для трамвайного пути с использованием демпфируемых прокладок между железобетонными сегментами, рельсовыми плетями и подрельсовым основанием



Рис. 4. Примерная зависимость изменения силы воздействия на путь от времени

$$\frac{1}{c^2} \frac{\partial^2 p}{\partial t^2} - \nabla^2 p = 0, \quad (1)$$

где c — скорость фронта упругой волны в среде; p — интенсивность шума. Если предположить, что закон изменения интенсивности шума имеет гармонический характер, то справедливо следующее соотношение:

$$p = \bar{p} e^{j\omega t}, \quad (2)$$

где $\bar{p}$ — обозначает интенсивность шума и обозначает угловую частоту. Уравнение можно представить относительно частоты гармонического закона

$$\frac{\omega^2}{c^2} \bar{p} + \nabla^2 \bar{p} = 0. \quad (3)$$

Зная скорость вибрации конструкции, можно получить интенсивность шума с помощью математического преобразования. Для цилиндрических акустических

волн удельное затухание шумового импульса зависит от среды, от свойств линейной вязкости интенсивности шума

$$p = Zu = p_{cu}. \quad (4)$$

Представленный подход для решения задач описания структурного акустического и вибрационного шума позволяет понять не только природу поведения шумовых воздействий с момента появления, но и учитывать их влияние на сооружения, окружающую среду и человека. В рамках реализации данной модели можно задавать начальные условия при проектировании объектов транспортной инфраструктуры, учитывать влияние геометрических и механических характеристик, инженерных решений как на фоновый шум, так и на отдельные импульсные воздействия, формирующих экстремальные величины негативного влияния. 

Литература

1. Haladin I., Lakusic S., Bogut M. Analysis of tram traffic vibrations in respect to tram track structure and exploitation period // Proceedings of the 20th International Congress on Sound and Vibration (ICSV '13). - International Institute of Acoustics and Vibration, Bangkok, Thailand, 2013. - P. 3242-3249.
2. Локтев, А. А. Моделирование воздействия городского рельсового транспорта на окружающую застройку / А. А. Локтев, Д. А. Локтев, Л. А. Илларионова. - Текст : непосредственный // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. - 2023. - № 1. - С. 52 - 60. DOI:10.15593/24111678/2023.01.07.
3. Тимошенко, С. П. Прочность и колебания элементов конструкций : избранные работы / С. П. Тимошенко ; под ред. Э. И. Григолюка. - Москва : Наука, 1975. - 704 с. - Текст : непосредственный.

4. ВСН 211 - 91. Ведомственные строительные нормы. Прогнозирование уровней вибраций грунта от движения метропоездов и расчет виброзащитных строительных устройств : внесены Всесоюзным научно-исследовательским институтом транспортного строительства (ЦНИИС) : согласованы Госстроем СССР 31 октября 1991 г. № АЧ-786-8 : утверждены Главным научно-техническим управлением Министерства транспортного строительства СССР от 13 ноября 1991 г. № МО-189 : введены в действие 1 января 1992 г. - 38 с. - Текст : непосредственный.
5. Степанов, К. Д. Моделирование вибрационного воздействия от поездов метрополитена на проектируемое здание и подбор параметров системы виброакустической защиты / К. Д. Степанов, А. А. Локтев, В. А. Ермоленко. - Текст : непосредственный // Внедрение современных конструкций и передовых технологий в путевое хозяйство. - 2018. - Т. 12. - № 12(12). - С. 19-25. - EDN: UUCOMQ.
6. Loktev A. A. [et al.]. Modeling the dynamic behavior of the upper structure of the railway track // Procedia Engineering. - 2017. - Т. 189. - pp. 133-137.
7. Особенности динамического поведения пролетного строения низководных мостов / А. А. Локтев, Д. А. Локтев, Л. А. Илларионова, А. Баракат. - Текст : непосредственный // Транспорт. Транспортные сооружения. Экология. - 2022. - № 2. - С. 72 - 81. - DOI: 10.15593/24111678/2022.02.09. - EDN: NVKWFS.
8. Kou J. W., DeWolf J. T. Vibrational behavior of continuous span highway bridge - Influencing variables // Journal of Structural Engineering- ASCE. - 1997. - Vol. 123(3). - pp. 333-344. - DOI: 10.1061/(ASCE)0733-9445(1997)123:3(333).
9. Илларионова, Л. А. Возможности учета техносферных воздействий вблизи транспортных магистралей / Л. А. Илларионова, А. А. Локтев. - Текст : непосредственный // Внедрение современных конструкций и передовых технологий в путевое хозяйство. - 2023. - Т. 19. - С. 17-24. - EDN: KCXUCT.
10. Шубин, И. Л. Интеграция шумозащитных барьеров в окружающую среду / И. Л. Шубин, Н. Е. Щурова. - Текст : непосредственный // Вестник МГСУ. - 2010. - № 1. - С. 255-261. - EDN: MUXPSB.
11. Кукуджанов, В. Н. Распространение волн в упруговязкопластических материалах с диаграммой общего вида. / В. Н. Кукуджанов // Известия Российской академии наук. Механика твердого тела. - 2001. - №5. - С. 96-111.
12. S.-Y. Hsia, S.-M. Chiu, and J.-W. Cheng, «Sound field analysis and simulation for fluid machines» Advances in Engineering Software.-2009 .- Vol. 40, №1.- pp. 15 - 22. View at: Publisher Site. Google Scholar. Zentralblatt MATH.