

Читать
онлайн
Read
onlineКопытенкова О.И.^{1,2}, Афанасьева Т.А.²

Эффективность снижения шума от железнодорожного транспорта акустическими экранами

¹ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья» Федеральной службы по надзору в сфере защиты прав потребителей и благополучия человека, 191036, Санкт-Петербург, Россия;

²Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петербургский государственный университет путей сообщения Императора Александра I», 190031, Санкт-Петербург, Россия

Введение. Стратегия развития транспортной инфраструктуры в России предполагает строительство железнодорожных путей, в том числе для высокоскоростного движения, увеличение скоростей движения по существующим путям, значительное увеличение грузо- и пассажирооборота, длины и веса поездов. Шум, генерируемый железнодорожным транспортом, становится причиной дискомфортных условий проживания граждан. Одним из наиболее распространённых методов снижения уровня шума на пути его распространения является установка акустических экранов (АЭ). **Цель работы** — оценить эффективность акустических экранов, используемых для снижения шума от линейных объектов железнодорожного транспорта.

Материалы и методы. Для оценки эффективности АЭ в реверберационной камере проведено исследование шести видов материалов, наиболее часто применяемых для их строительства. Экспериментальные исследования и расчёты проведены в соответствии с требованиями актуальной нормативно-технической документации.

Результаты. Экспериментальные исследования показали снижение воздушного шума от 27 до 44 дБА. В реальных условиях длинноволновая часть спектра шума железнодорожного транспорта огибает экран, за которым формируется акустическая тень. Расчётная акустическая тень от АЭ для неэлектрифицированных путей составляет 45,95 м от экрана, для электрифицированных путей — 40,56 м. Показано, что эффективность АЭ снижается при увеличении скорости движения поездов.

Ограничения исследования. Ограничения определены величиной расчётного показателя неопределённости, полученного при анализе результатов акустических измерений.

Заключение. Использование АЭ в качестве основного мероприятия по шумозащите малоэффективно на территориях с высокоэтажными жилыми и общественными зданиями, а также в перспективе интенсивного развития высокоскоростного железнодорожного движения. Процедура установления расчётных размеров расстояния от железнодорожных путей, обеспечивающего соблюдение требований санитарно-эпидемиологического благополучия, нуждается в регламентировании перечня и качества исходных данных, учитывающих особенности строения пути и организации движения железнодорожного транспорта.

Ключевые слова: шум; линейные объекты железнодорожного транспорта; акустические экраны

Соблюдение этических стандартов. Исследование не требует представления заключения комитета по биомедицинской этике или иных документов.

Для цитирования: Копытенкова О.И., Афанасьева Т.А. Эффективность снижения шума от железнодорожного транспорта акустическими экранами. *Гигиена и санитария*. 2023; 102(8): 764–767. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-8-764-767> <https://elibrary.ru/quovok>

Для корреспонденции: Копытенкова Ольга Ивановна, доктор мед. наук, профессор, гл. науч. сотр. отд. анализа риска здоровью населения ФБУН «Северо-Западный научный центр гигиены и общественного здоровья», 191036, Санкт-Петербург. E-mail: 5726164@mail.ru

Участие авторов: Копытенкова О.И. — концепция и дизайн исследования, сбор и обработка материала, утверждение окончательного варианта статьи; Афанасьева Т.А. — контент-анализ документов, написание текста.

Конфликт интересов. Авторы заявляют об отсутствии явных и потенциальных конфликтов интересов в связи с публикацией данной статьи.

Финансирование. Исследование не имело спонсорской поддержки.

Поступила: 28.04.2023 / Принята к печати: 07.06.2023 / Опубликована: 09.10.2023

Olga I. Kopytenkova^{1,2}, Tatiana A. Afanasyeva²

Efficiency of reduction of noise from railway transport by acoustic screens

¹North-Western Scientific Center of Hygiene and Public Health, St. Petersburg, 191036, Russian Federation;

²Emperor Alexander I St. Petersburg State Transport University, St. Petersburg, 190031, Russian Federation

Introduction. The strategy for the development of transport infrastructure in Russia involves the construction of railway tracks, including for high-speed traffic. The noise created by rail transport creates uncomfortable living conditions for citizens. One of the most common methods of noise reduction in the way of its propagation is the installation of acoustic screens.

The purpose of the work. To evaluate the effectiveness of acoustic screens used to reduce noise from linear objects of railway transport.

Materials and methods. To evaluate the effectiveness of acoustic screens in the reverberation chamber, a study of six types of materials most commonly used for their construction was conducted. Experimental studies calculations were carried out in accordance with the requirements of current regulatory and technical documentation.

Results. Experimental studies have shown air noise isolation levels to vary from 27 dBA to 44 dBA. In real conditions, the long-wave part of the noise spectrum of railway transport bends around the screen, forming an acoustic shadow. The calculated acoustic shadow from the AE for non-electrified tracks is 45.95 m from the screen, for electrified tracks — 40.56 m. The efficiency of acoustic screens was shown to decrease with increasing train speed.

Limitations. The limitations are determined by the value of the calculated uncertainty indicator obtained by analyzing the results of acoustic measurements.

Conclusion. The use of acoustic screens as the main noise protection measure has little prospect in newly built-up areas with high-rise residential and public buildings, and in the conditions of the prospect of intensive development of high-speed rail traffic. The procedure for establishing the estimated size of the distance

from the railway tracks, ensuring compliance with the requirements of sanitary and epidemiological well-being, needs a clear regulation of the list and quality of the initial data, taking into account the peculiarities of the structure of the track and the management of railway traffic.

Keywords: noise; linear objects of railway transport; acoustic screens

Compliance with ethical standards. The study does not require the submission of the conclusion of the Biomedical ethics committee or other documents.

For citation: Kopytenkova O.I., Afanasyeva T.A. Efficiency of reduction of noise from railway transport by acoustic screens. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2023; 102(8): 764–767. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2023-102-8-764-767> <https://elibrary.ru/quovok> (In Russ.)

For correspondence: Olga I. Kopytenkova, MD, PhD, DSci., Professor, Chief Researcher of the Department of Public Health Risk Analysis of the North-Western Scientific Center for Hygiene and Public Health, St. Petersburg, 191036, Russian Federation. E-mail: 5726164@mail.ru

Information about authors: Kopytenkova O.I., <https://orcid.org/0000-0001-8412-5457>

Contribution: Kopytenkova O.I. – research concept and design, collection and processing of material; content analysis of documents, writing of text; Afanasyeva T.A. – research concept and design, collection and processing of material; content analysis of documents, writing of text. All authors are responsible for the integrity of all parts of the manuscript and approval of the manuscript final version.

Conflict of interest. The authors declare no conflict of interest.

Acknowledgement. The study had no sponsorship.

Received: April 28, 2023 / Accepted: June 7, 2023 / Published: October 9, 2023

Введение

Железнодорожный транспортный комплекс представляет собой одну из основных отраслей экономики, его развитие во многом определяет формирование промышленного потенциала всей страны в соответствии с «Транспортной стратегией Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года»¹. Стратегия предполагает увеличение скоростей движения как по существующим железнодорожным путям, так и по новым высокоскоростным, значительное увеличение грузо- и пассажирооборота, длины и веса поездов. Эти процессы на линейных объектах железнодорожной инфраструктуры закономерно будут сопровождаться возрастающей сверхнормативной акустической нагрузкой на близлежащие территории. В настоящее время транспортная доступность является фактором ухудшения комфортной среды. В результате на полигонах железных дорог наблюдается ежегодный рост обращений с жалобами. При этом 71% составляют жалобы на сверхнормативный уровень шума от деятельности железнодорожной инфраструктуры. Основной причиной дискомфорта условий проживания граждан является подвижной состав, на который приходится в среднем 54% обращений. Одним из наиболее распространённых методов снижения уровня шума на пути его распространения является установка акустических экранов (АЭ).

Для решения проблемы сверхнормативного воздействия линейных объектов железнодорожного транспорта на близлежащие территории со сложившейся или проектируемой градостроительной ситуацией необходимо иметь объективную характеристику эффективности акустических экранов (АЭ).

Цель работы – оценить эффективность акустических экранов, используемых для снижения шума от линейных объектов железнодорожного транспорта.

Материалы и методы

Для оценки эффективности АЭ проведено исследование материалов, наиболее часто применяемых для их строительства. Исследования проведены в реверберационной камере. Измерения звукоизоляции проведены в соответствии с ГОСТ 27296–2012² и СП 51.13330.2011³. Величину изоляции

воздушного шума испытуемым образцом R в каждом диапазоне рассчитывали в соответствии с ГОСТ 27296–2012. Было исследовано шесть образцов: панель звукопоглощающая и звукоизолирующая шумозащитная Дюрисол; шумозащитная панель АкустовЪ-Пап без перфорации; панель шумозащитная Soundguard; панель шумозащитная АкустовЪ-ПАП с перфорацией; композиционная шумозащитная панель AnATэК; панель звукопоглощающая и звукоизолирующая шумозащитная АЗ-с.

Для измерений использовали образцовый источник шума типа 4224, зав. № 1126089 (фирма «Брюль Кьер», Дания); шумомер-анализатор спектра типа 2250, зав. № 2590525 (с предусилителем ZC0032 № 6848 и микрофоном 4189 № 2595571) (фирма «Брюль Кьер», Дания); акустический калибратор типа 4230, зав. № 615905 (фирма «Брюль Кьер», Дания); установка для измерения звукоизоляции воздушного шума УИЗВШ-01, зав. № 03.

Для расчёта эффективности АЭ проведён анализ действующих в настоящее время нормативно-технических документов^{4,5,6,7}.

Результаты

Результаты измерения шумоизоляции в экспериментальных условиях реверберационной камеры представлены в табл. 1.

По данным Иванова И.И., Тюриной Н.В., Шашурина А.Е., Курченко П.С. [1], расчётная эффективность АЭ в соответствии с СП 276.1325800–2016 показывает завышенные значения эффективности, а проведённые ими исследования подтвердили, что только 10% от общего количества экранов выполняют заявленную функцию снижения шума [1–8]. Указанное обстоятельство можно объяснить тем, что при эксплуатации АЭ в реальных условиях длинноволновая часть спектра шума железнодорожного транспорта огибает экран, формируя акустическую тень, и продолжает распространяться на территории.

В рамках настоящего исследования проведено определение размеров акустической тени для характеристики эф-

¹ Распоряжение Правительства Российской Федерации от 27 ноября 2021 г. № 3363-р «Об утверждении Транспортной стратегии Российской Федерации до 2030 года с прогнозом на период до 2035 года». [Электронный ресурс]. Официальный интернет-портал правовой информации www.pravo.gov.ru, 03.12.2021 г., № 0001202112030006 Собрание законодательства Российской Федерации, № 50 (ч. IV), 13.12.2021 г., ст. 8613, 285 с.

² ГОСТ 27296–2012 Здания и сооружения. Методы измерения звукоизоляции ограждающих конструкций. С поправками. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200103111?section=text> (дата обращения: 31.03.2023 г.).

³ СП 51.13330.2011 Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23–03–2003 (с Изменениями № 1, 2, 3). [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200084097?section=text> (дата обращения: 31.03.2023 г.).

⁴ ГОСТ 27296–2012 Здания и сооружения. Методы измерения звукоизоляции ограждающих конструкций. С поправками. [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200103111?section=text> (дата обращения: 31.03.2023 г.).

⁵ СП 51.13330.2011 Защита от шума. Актуализированная редакция СНиП 23–03–2003 (с Изменениями № 1, 2, 3). [Электронный ресурс]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/1200084097?section=text> (дата обращения: 31.03.2023 г.).

⁶ Свод правил СП 276.1325800–2016 Здания и территории. Правила проектирования защиты от шума транспортных потоков. Приказ Минстроя России от 03.12.2016 г. № 893/пр. С изменениями от 30.04.2022 г.

⁷ Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации. Приказ Минтранса России от 21.12.2010 г. № 286. С изменениями и дополнениями. Регистрация Минюста России от 28.12.2011 г. № 19627. Редакция от 25.12.2018 г.

Таблица 1 / Table 1

Результаты исследования шумоизоляции в экспериментальных условиях реверберационной камеры

Results of the study of noise insulation in experimental conditions of the reverberation chamber

Тип шумозащитной панели Type of noise protection panel	Индекс изоляции воздушного шума, дБ Air noise isolation index, dB
SOUNDGUARD TU 5760-006-47083199-2016	28
АпАТЭК / АрАТеК	34
АкустовЪ – ПАП (ШЗЭ) без перфорации TU 5760-005-66627491-11	27
Acoustic – PAP (SHSE) – without perforation TU 5760-005-66627491-11	
АкустовЪ – ПАП (ШЗЭ) с перфорацией TU 5760-005-66627491-11	32
Acoustic – PAP (SHSE) – with perforation TU 5760-005-66627491-11	
Дюрисол TU 5741-001-80560517-2011	44
Durisol TU 5741-001-80560517-2011	
АЗ-с TU 5284-004-62768289-2014	32
AZ-s TU 5284-004-62768289-2014	

эффективности АЭ. При расчётах использовали нормативные условия установки экранов вдоль линейных объектов железнодорожного транспорта. Анализ документов показал, что в пп. 10.5.4–10.5.12 СП 276.1325800–2016 приведены рекомендации по установке АЭ, не учитывающие тип дороги, характеристики участка территории, отведённой под строительство, и устройства верхнего строения пути, а также условия эксплуатации и содержания пути. Учёт требований к устройству железнодорожного пути предопределяет эффективность проектирования и применения АЭ в районах эксплуатации железнодорожного транспорта.

Нами проведены теоретические расчёты эффективности АЭ на условно плоской поверхности исходя из требований, предъявляемых к территории верхнего строения для неэлектрифицированных железнодорожных путей при отсутствии водоотводной канавы. Используются следующие исходные данные: размер плеча балластной призмы 0,45 м, ширина откоса балластной призмы 0,6 м. Для соблюдения условий безопасности обслуживания верхнего строения пути расстояние от подошвы балластной призмы до экрана не может составлять меньше 3 м. Поскольку в СП 276.1325800–2016 в отличие от рекомендаций для автомобильного транспорта отсутствуют конкретные рекомендации, регламентирующие расстояние от оси пути железной дороги до экрана, при расчётах эффективности АЭ расстояние от источника практически не учитывается.

Суммарное расстояние от крайнего рельса до экрана для неэлектрифицированных железнодорожных путей при отсутствии водоотводной канавы должно составлять не менее $S_1 = 4,05$ м, данная величина принята для расчётов.

Для АЭ на условно плоской поверхности с учётом требований, предъявляемых к территории верхнего строения для электрифицированных железнодорожных путей, расчётное расстояние от крайнего рельса до места установки акустического экрана должно учитывать следующие исходные данные: расстояние от оси крайнего пути до внутреннего края (диаметра) опор контактной сети на перегонах и станциях, диаметр опоры, ширину железнодорожной колеи, расстояние до водоотводной канавы, ширину канавы. В этом случае суммарное расстояние от крайнего рельса до акустического экрана для электрифицированных железнодорожных путей составит $S_2 = 9,44$ м.

Кроме того, при расчёте эффективности АЭ не учитывают высоту балластной призмы (0,4 м), высоту шпалы над

Таблица 2 / Table 2

Показатели шума на расстоянии 50 м от источника с учётом расчётной эффективности акустических экранов

Noise indicators at a distance of 50 meters from the source, taking into account the calculated efficiency of acoustic screens

Показатель Index	Неэлектрифицированные пути Non-electrified tracks		Электрифицированные пути Electrified tracks	
	Скорость движения пассажирского поезда, км/ч Passenger train speed, km/h			
	140	80	140	80
	Расстояние до экрана, м / Distance to the screen, m			
	4.05		9.55	
$L_{Aeq,1}$, дБА	69.5	63.4	72.5	66.4
$L_{Amax,1}^{ж\text{ел}}$, дБА	74.2	68.4	77.2	71.4

балластной призмой порядка 0,05 м и высоту рельса 0,18 м, что в сумме составляет 0,63 м. Этот показатель снижает расчётную величину АЭ при определении его эффективности.

Для вычисления показателя шума при прохождении пассажирского поезда его скорость принята $v_1 = 140$ км/ч, а длина поезда $l_1 = 500$ м.

Эквивалентный уровень звука $L_{Aeq,1}$, создаваемого пассажирским поездом за время его проезда мимо расчётной точки на расстоянии 50 м от источника, рассчитывается по формуле 1, дБА:

$$L_{Aeq,1} = 25,3lgv_1 + 10lg \left[\arctg \frac{l_1}{25} \right] + 33,3 \quad (1)$$

$$L_{Aeq,1} = 25,3lg140 + 10lg \left[\arctg \frac{500}{25} \right] + 33,3 = 89,42 \approx 89,4 \text{ дБА}$$

Максимальный уровень звука, создаваемый пассажирским поездом, рассчитывается по формуле 2, дБА:

$$L_{Amax,1}^{ж\text{ел}} = 24 \cdot lg \cdot v_1 + 42,6 \quad (2)$$

$$L_{Amax,1}^{ж\text{ел}} = 94,11 \approx 94,1 \text{ дБА}$$

Расчётная акустическая тень от АЭ высотой 3,63 м (высота принята на основе натурных исследований), в которой наблюдается снижение шума для неэлектрифицированных путей, составляет 45,95 м от экрана, для электрифицированных путей – 40,56 м. За пределами акустической тени с учётом расчётной эффективности акустического экрана значения эквивалентного уровня звука пассажирских поездов для неэлектрифицированных путей на расстоянии 50 м составляют $L_{Aeq,1} = 69,5$ дБА, значения максимального уровня звука составят $= 74,2$ дБА. Для электрифицированных путей $L_{Aeq} = 72,5$ дБА и $L_{Amax} = 77,2$ дБА.

В табл. 2 представлены показатели шума на расстоянии 50 м от источника с учётом расчётной эффективности акустических экранов.

Расчётные данные показали, что эффективность АЭ снижается при увеличении скорости движения поездов.

Обсуждение

Анализ полученных результатов показал, что на эффективность АЭ оказывает влияние расстояние от места его установки до источника шума. С увеличением этого расстояния эффективность экрана закономерно уменьшается. Так, при расстоянии 4,05 м расчётные показатели для эквивалентного и максимального уровней на 3 дБА меньше, чем для условий, когда расстояние составляет 9,55 м (см. табл. 2). Одновременно увеличение скорости движения поезда с 80 до 140 км/ч в одних и тех же условиях снижает

эффективность АЭ на 5–6 дБА. Наиболее неблагоприятная ситуация складывается вдоль электрифицированных железных дорог в условиях движения поездов со скоростью 140 км/ч.

Сравнение полученных результатов с нормативными значениями уровней шума как для ночного, так и для дневного времени суток указывает, что АЭ не является достаточно эффективным средством снижения шума на территории жилой застройки вдоль линейных объектов железнодорожного транспорта в связи с тем, что протяженность акустической тени от АЭ стандартной высоты, расположенных на нормативном расстоянии от источника, составляет лишь 40,5–45,95 м от места установки. Ранее нами было установлено [9, 10], что АЭ в связи с процессами дифференции и дифракции не обладают эффективностью в условиях высокоэтажной застройки. Жилые помещения на третьем и выше этажах не попадают в зону акустической тени.

Ограничения в точности результатов настоящего исследования определены величиной расчётного показателя неопределённости, который получен при анализе акустических измерений.

Заключение

Использование АЭ в качестве основного мероприятия по шумозащите малоперспективно на территориях, застраиваемых высокоэтажными жилыми и общественными зданиями, а также в перспективе интенсивного развития высокоскоростного железнодорожного движения.

Процедура установления расчётных размеров расстояния от железнодорожных путей, обеспечивающего соблюдение требований санитарно-эпидемиологического благополучия, нуждается в регламентировании перечня и качества исходных данных, учитывающих особенности строения пути и организации движения железнодорожного транспорта.

Литература

1. Иванов И.И., Тюрина Н.В., Шашурин А.Е., Курченко П.С. Использование метода преобразования звуковых полей для расчета эффективности шумозащитных конструкций. *Noise Theory Pract.* 2020; 6(4): 128–34. <https://elibrary.ru/aixqxc>
2. Черняк В.В., Куклин Д.А., Буторина М.В., Васильев А.П. Совместное применение расчетного и измерительного методов оценки шума железнодорожного транспорта для разработки шумозащитных мероприятий. В кн.: Иванов Н.И., ред. *Защита от повышенного шума и вибрации. Сборник трудов Всероссийской научно-практической конференции с международным участием*. СПб.; 2021: 184–90. <https://elibrary.ru/lcmdwm>
3. Шабарова А.В., Буторина М.В., Куклин Д.А. Сравнение методов расчета распространения шума железнодорожного транспорта в различных типах застройки. *Noise Theory Pract.* 2022; 8(3): 16–33. <https://elibrary.ru/mfjxut>
4. Буторина М.В., Куклин Д.А., Шабарова А.В. Инженерный метод геометрической акустики для оценки дифракций высокого порядка в застройке. В кн.: Иванов Н.И., ред. *Защита от повышенного шума и вибрации. Сборник докладов VII Всероссийской научно-практической конференции с международным участием*. СПб.; 2019: 465–75. <https://elibrary.ru/zfcwjn>
5. Рябев В.В., Овчаренко М.С. Перспективный метод снижения виброакустической нагрузки вдоль линейных объектов железнодорожного транспорта. В кн.: *III Бетанкуровский международный инженерный форум: Сборник трудов. Том 2*. СПб.; 2021: 125–7. <https://elibrary.ru/ampmiv>
6. Кривко Е.В. Методические основы проектирования оптимального мероприятия по защите населенного пункта от транспортного шума. *Вестник Евразийской науки*. 2021; 13(1): 32. <https://elibrary.ru/ublliy>
7. Смирнов В.В., Скляр Д.Н. Разработка методических подходов к проведению мониторинга транспортного шума и его оценка с применением методов акустического моделирования. *Гигиена и санитария*. 2022; 101(8): 872–7. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-8-872-877> <https://elibrary.ru/cxziyb>
8. Рябев В.В., Леванчук А.В. Особенности оценки комфортности среды городских поселений с учетом виброакустического воздействия в зоне влияния транспортных железнодорожных узлов. *Вестник Евразийской науки*. 2021; 13(6): 53. <https://elibrary.ru/fpazov>
9. Леванчук А.В., Курепин Д.Е., Афанасьева Т.А. Геоинформационный метод оценки воздействия шума транспортных потоков на окружающую среду. В кн.: *Материалы Международной научно-практической интернет-конференции «Modern engineering and innovative technologies»*. Том 3, Выпуск 5. Карлсруэ; 2018: 56–60.
10. Афанасьева Т.А., Бурнашов Л.Б., Курепин Д.Е., Пирогова Н.Н. Результаты исследования мер снижения сверхнормативного акустического воздействия на жилые территории. В кн.: *Материалы Всероссийской научно-практической конференции с международным участием «Профилактическая медицина – 2018»*. СПб.; 2018: 40–4.

References

1. Ivanov I.I., Tyurina N.V., Shashurin A.E., Kurchenko P.S. Using the sound field conversion method to calculate the efficiency of noise protection structures. *Noise Theory Pract.* 2020; 6(4): 128–34. <https://elibrary.ru/aixqxc> (in Russian)
2. Chernyak V.V., Kuklin D.A., Butorina M.V., Vasil'ev A.P. Joint application of computational and measuring methods for assessing the noise of railway transport for the development of noise protection measures. In: Ivanov N.I., ed. *Protection from Increased Noise and Vibration. Proceedings of the All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation [Zashchita ot povyshennogo shuma i vibratsii. Sbornik trudov Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem]*. St. Petersburg; 2021: 184–90. <https://elibrary.ru/lcmdwm> (in Russian)
3. Shabarova A.V., Butorina M.V., Kuklin D.A. Comparison of methods for calculating the propagation of railway transport noise in various types of building. *Noise Theory Pract.* 2022; 8(3): 16–33. <https://elibrary.ru/mfjxut> (in Russian)
4. Butorina M.V., Kuklin D.A., Shabarova A.V. Engineering method of geometric acoustics for evaluating high-order diffraction in buildings. In: Ivanov N.I., ed. *Protection from Increased Noise and Vibration. Collection of Reports of the VII All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation [Zashchita ot povyshennogo shuma i vibratsii. Sbornik dokladov VII Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem]*. St. Petersburg; 2019: 465–75. <https://elibrary.ru/zfcwjn> (in Russian)
5. Ryabets V.V., Ovcharenko M.S. A promising method of reducing the vibroacoustic load along linear objects of railway transport. In: *III Betancourt International Engineering Forum. Collection of Works. Volume 2 [III Betankurovskiy mezhdunarodnyy inzhenernyy forum: Sbornik trudov. Tom 2]*. St. Petersburg; 2021: 125–7. (in Russian)
6. Krivko E.V. Methodological foundations for designing the optimal event to protect settlements from traffic noise. *Vestnik Evraziyskoy nauki*. 2021; 13(1): 32. <https://elibrary.ru/ublliy> (in Russian)
7. Smirnov V.V., Sklyar D.N. Development of methodological approaches to conducting monitoring of traffic noise and its assessment using acoustic modelling methods. *Gigiena i Sanitariya (Hygiene and Sanitation, Russian journal)*. 2022; 101(8): 872–7. <https://doi.org/10.47470/0016-9900-2022-101-8-872-877> <https://elibrary.ru/cxziyb> (in Russian)
8. Ryabets V.V., Levanchuk A.V. Features of the assessment of the comfort of the urban settlements environment, taking into account the vibroacoustic impact in the zone of influence of transport railway junctions. *Vestnik Evraziyskoy nauki*. 2021; 13(6): 53. <https://elibrary.ru/fpazov> (in Russian)
9. Levanchuk A.V., Kurepin D.E., Afanas'eva T.A. Geoinformation method for assessing the impact of traffic noise on the environment. In: *Materials of the International Scientific and Practical Internet Conference «Modern Engineering and Innovative Technologies»*. Volume 3, Issue 5 [Materialy Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy internet-konferentsii «Modern engineering and innovative technologies»]. Tom 3, Vypusk 5]. Karlsruhe; 2018: 56–60. (in Russian)
10. Afanas'eva T.A., Burnashov L.B., Kurepin D.E., Pirogova N.N. Results of a study of measures to reduce excess acoustic impact on residential areas. In: *Materials of the All-Russian Scientific and Practical Conference with International Participation «Preventive Medicine – 2018» [Materialy Vserossiyskoy nauchno-prakticheskoy konferentsii s mezhdunarodnym uchastiem «Profylakticheskaya meditsina – 2018»]*. St. Petersburg; 2018: 40–4. (in Russian)