

# ТЕХНОСФЕРНАЯ БЕЗОПАСНОСТЬ



Научная статья

УДК 331.453

<https://doi.org/10.23947/2541-9129-2023-1-39-46>

## Обеспечение безопасности труда при эксплуатации железнодорожного транспорта путем модернизации систем вибродемпфирующих накладок и рельсовых пластин

Е. И. Головина  , Д. А. Соколов 

Воронежский государственный технический университет, Российская Федерация, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, 84

 [u00111@vgasu.vrn.ru](mailto:u00111@vgasu.vrn.ru)

### Аннотация

**Введение.** Шум и вибрация на железнодорожном транспорте являются опасными как для работников, так и для окружающей среды. Важным является выполнение комплексного анализа последствий воздействия шумового и вибрационного загрязнения на работников железнодорожного транспорта и окружающую среду, а также рассмотрение доступных методов минимизации данного воздействия, создаваемого во время движения поездных составов. Безопасность может быть достигнута за счет обеспечения нормативных уровней шума и вибрации. Цель работы заключалась в оценке безопасности труда при эксплуатации железнодорожного транспорта путем улучшения системы вибродемпфирующих накладок и рельсовых пластин.

**Материалы и методы.** В процессе исследования проведены анализ возникновения шума и вибрации, оценка их негативного влияния на работников железнодорожного транспорта и окружающую среду. Рассмотрены доступные методы минимизации шумового загрязнения, описана классификация методов борьбы с шумом и вибрацией. В работе были использованы методы и средства, требуемые нормативными документами по обеспечению безопасности труда при эксплуатации железнодорожного транспорта.

**Результаты исследований.** Исходя из результатов исследования следует, что существует необходимость для усиления мер по комплексной защите и минимизации вредных факторов. Результатом исследования явилось предложение мероприятия по улучшению одного из применяемых методов минимизации шума — установка вибродемпфирующей накладки, для производства которой используется вторичное сырье в виде резиновой крошки. В работе выполнен расчет экономической эффективности одного из предложенных способов минимизации шумового загрязнения и описан положительный эффект после его применения, рассмотрены доступные варианты улучшения звукопоглощения рельс.

**Обсуждение и заключения.** На основе результатов исследования выявлен положительный экономический эффект одного из предложенных способов улучшения метода минимизации шума.

**Ключевые слова:** шумовое загрязнение, вибрация, окружающая среда, вибродемпфирующие пластины, минимизация шумового загрязнения, минимизация вибрации.

**Благодарности.** Авторы благодарят профессора, доктора технических наук [Вячеслава Яковлевича Манохина](#) за наставничество, а также выражают признательность анонимным рецензентам.

**Для цитирования.** Головина, Е. И. Обеспечение безопасности при эксплуатации железнодорожного транспорта путем модернизации систем вибродемпфирующих накладок и рельсовых пластин / Е. И. Головина, Д. А. Соколов // Безопасность техногенных и природных систем. — 2023. — № 1. — С. 39–46. <https://doi.org/10.23947/2541-9129-2023-1-39-46>

© Головина Е. И., Соколов Д. А., 2023

## Ensuring Occupational Safety at Railway Transport Operation by Upgrading the Systems of Vibration Damping Plates and Rail Plates

Elena I. Golovina  , Dmitriy A. Sokolov 

Voronezh State Technical University, Voronezh, Russian Federation

 [u00111@vgasu.vrn.ru](mailto:u00111@vgasu.vrn.ru)

### Abstract

**Introduction.** Noise and vibration in railway transport is a dangerous type of pollution for both the workers and the environment. It is important to carry out a comprehensive analysis of the effects of noise and vibration pollution on railway transport workers, the environment, and to consider available methods to minimize harmful effects created during the movement of trains. Safety can be achieved by ensuring regulatory noise and vibration levels. The work objective is to assess the safety of work during the operation of railway transport by improving the system of vibration damping pads and rail plates.

**Materials and Methods.** In the course of the study, an analysis of the occurrence of noise and vibration, an assessment of their negative impact on railway transport workers and the environment was carried out. The available methods of noise pollution minimization are considered, the classification of noise and vibration control methods is described. The methods and means required by the regulatory documents on labor safety during the operation of railway transport were used in the work.

**Results.** Based on the results of the study, it follows that there is a need to strengthen measures for comprehensive protection and minimization of harmful factors. The result of the study was the proposal to improve one of the applied methods of noise minimization — the installation of a vibration damping pad, for the production of which secondary raw materials in the form of rubber crumbs are used. The paper calculates the economic efficiency of one of the proposed methods of minimizing noise pollution and describes the positive effect after its application, considers available options for improving the sound absorption of rails.

**Discussion and Conclusion.** Based on the results of the study, the positive economic effect of one of the proposed ways to improve the noise minimization method was revealed.

**Keywords:** noise pollution, vibration, environment, vibration damping plates, noise pollution minimization, vibration minimization.

**Acknowledgements.** The authors would like to thank Professor, Dr. Sci. (Eng) Vyacheslav Yakovlevich Manokhin for mentoring, and also express their gratitude to anonymous reviewers.

**For citation.** E. I. Golovina, D. A. Sokolov. Ensuring Occupational Safety at Railway Transport Operation by Upgrading the Systems of Vibration Damping Plates and Rail Plates. *Safety of Technogenic and Natural Systems*, 2023, no.1, pp. 39–46. <https://doi.org/10.23947/2541-9129-2023-1-39-46>

**Введение.** Комплексный анализ шумового и вибрационного загрязнения от железнодорожного транспорта показывает долгосрочное негативное воздействие на здоровье человека [1]. Это воздействие опасно вследствие возникновения различных заболеваний — вибрационной болезни, болезней слухового нерва (невриты, слуховая диссинхрония) [2]. Доля шума в факторной оценке условий труда машинистов и помощников машинистов локомотивов составляет более 35 % [3]. При проведении специальной оценки условий труда устанавливают степень вредности и опасности при действии виброакустических факторов согласно Р 2.2.2006–05 с учётом их временных характеристик (постоянный, непостоянный шум, вибрация и т.д.)<sup>1</sup>. Создание комфортной рабочей среды для людей, работающих на железнодорожном транспорте, достигается минимизацией воздействия таких факторов.

При оценке влияния шумового загрязнения и вибрации в рамках специальной оценки условий труда применяют последовательную методику, которая включает: идентификацию факторов, которые негативно влияют на работников; исследования и измерения факторов; отнесение условий труда к определенному классу, исходя из степени вредности [4]. При оценке условий труда внимание уделяется характеру шума (постоянный или непостоянный) и его тоновой характеристике. Когда работник подвергается воздействию постоянного

<sup>1</sup> Р 2.2.2006-05. Гигиена труда. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда / Комиссия по государственному санитарно-эпидемиологическому нормированию; Главный государственный санитарный врач Российской Федерации // Бюллетень нормативных и методических документов Госсанэпиднадзора. 2005. № 3 (21). 114 с.

шума, отнесение условий труда к классу или подклассу под воздействием виброакустических факторов осуществляется по результатам измерения уровней звукового давления в октавных диапазонах со средними геометрическими частотами 31,5; 63; 125; 250; 500; 1000; 2000; 4000; 8000 Гц (таблица 1) [5].

Таблица 1

Классы условий труда в зависимости от уровней шума, локальной, общей вибрации, инфра- и ультразвука на рабочем месте по Р 2.2.2006–05<sup>2</sup>

Название фактора, показатель, единица измерения	Класс условий труда					
	Допустимый	Вредный				Опасный
		2	3.1	3.2	3.3	
Превышение ПДУ до ...дБ/раз (включительно):						
Шум, эквивалентный уровень звука, дБА	ПДУ	5	15	25	35	35
Вибрация локальная, эквивалентный скорректированный уровень (значение) виброскорости, виброускорения (дБ/раз)	ПДУ	3/1,4	6/2	9/2,8	12/4	12/4
Вибрация общая, эквивалентный скорректированный уровень виброскорости, виброускорения (дБ/раз)	ПДУ	6/2	12/4	18/6	24/8	24/8
Инфразвук, общий уровень звукового давления, дБ/Лин	ПДУ	5	10	15	20	20
Ультразвук воздушный, уровни звукового давления в 1/3 октавных полосах частот, дБ	ПДУ	10	20	30	40	40
Ультразвук контактный, уровень виброскорости, дБ	ПДУ	5	10	15	20	20

Оценка условий труда по виброакустическим факторам на рабочих местах машинистов и помощников машинистов, путевых и станционных рабочих проводится аналогично стационарным рабочим местам, где имеется оборудование, являющееся источником шума и вибрации. Предельно допустимые уровни шума на рабочих местах определяются с учётом тяжести и напряжённости трудовой деятельности по СН 2.2.4/2.1.8.562–96<sup>3</sup>.

Цель данного исследования заключается в оценке безопасности труда при эксплуатации железнодорожного транспорта путем модернизации систем вибродемпфирующих накладок и рельсовых пластин.

Основным источником шума на железнодорожном транспорте является шум, издаваемый составом при движении, который создают путевые машины и техническое оборудование [1]. Вибрация передается от колесных пар к корпусу вагона и имеет свойство распространяться в окружающую среду [5]. Повышенные шум и вибрация считаются критериями, соответствия которых нормативным величинам технически наиболее сложно добиться [6].

Результаты многолетних клинических наблюдений и обследований больших групп людей различных специальностей, работа которых связана с воздействием интенсивного шума, позволяют считать шумовую болезнь самостоятельной формой профессиональной патологии<sup>4</sup>. Шумовой режим, значительно превышающий нормативы, при непрерывном воздействии на человека негативно сказывается на здоровье: страдают органы слуха, нервная и вегетативная системы [7]. Уровень шума от железных дорог зависит от множества факторов. На это влияют, например, техническое состояние путей и подвижного состава, тип используемых тормозов, объем движения или рельеф местности. Вагонные и ремонтно-экипировочные депо, которые расположены

<sup>2</sup> Р 2.2.2006-05. Гигиена труда. Руководство по гигиенической оценке факторов рабочей среды и трудового процесса. Критерии и классификация условий труда.

<sup>3</sup> СН 2.2.4/2.1.8.562-96. Шум на рабочих местах, в помещениях жилых, общественных зданий и на территории жилой застройки. Санитарные нормы / Госкомсанэпиднадзор РФ // Консорциум «Кодекс»: [сайт]. URL: <https://docs.cntd.ru/document/901703278> (дата обращения: 18.01.2023).

<sup>4</sup> Терентьева Л. С. Геоэкологическая оценка акустического загрязнения примагистральных территорий: на примере г. Воронежа : дис. канд. географ. наук. Воронеж, 2008. 152 с.

вблизи жилых районов наносят существенный вред здоровью человека и целостности природных систем. Шум и вибрация, которые возникают при движении поездов, также наносят вред человеку и окружающей среде. Значительное превышение нормативов уровня шума приносит дискомфорт жителям, может являться значимой причиной ухудшения самочувствия и снижения работоспособности. Длительное и систематическое воздействие шумового загрязнения и вибрации может стать началом развития заболеваний нервной и вегетососудистой систем. Количество людей, подверженных высокой степени нарушения сна очень велико, большинство людей сталкиваются с воздействием постоянного шума 50–60 дБ именно ночью, что при отсутствии других дневных источников шума является одним из основных факторов бессонницы и систематических неврозов.

В классификации методов минимизации шума используют следующие направления: минимизация или устранение шума в источнике, минимизация шума от источника к объекту (звукоизоляция, звукопоглощение, глушение) и защита людей специальными средствами. Защиту от шума можно реализовать средствами коллективной защиты (акустические экраны, ограждения, кожухи, вибродемпфирующие накладки), либо средствами индивидуальной защиты (накладные наушники, беруши).

**Материалы и методы.** Актуальными методами борьбы с шумовым воздействием являются технические (своевременное техническое обслуживание оборудования и железнодорожных путей, шлифовка рельс и т. д), архитектурно-планировочные и акустические (установка шумозащитных экранов, кожухов, вибродемпфирующих накладок) методы.

На сегодняшний день существует множество альтернативных методов, которые способствуют снижению шумового воздействия путем применения дополнительных технических решений: высокоупругие прокладки для рельсовых креплений, подбалластные маты, упругие опоры для пути на плитах с балластным корытом, системы под названием «масса-пружина». Системы «масса-пружина» применяются при предъявлении самых жестких требований к защите от структурных шумов и при наличии конструктивных возможностей реализации.

Результаты теоретических исследований показали эффективность конструкционной схемы «масса-пружина». Наиболее эффективными являются конструкции, в составе которых присутствуют монолитный бетон либо бетонные элементы [8]. При проектировании упругой опоры для систем «масса-пружина» выбранное конструктивное решение определяет итоговую эффективность системы виброизоляции.

Рассмотрим актуальные конструктивные методы борьбы с шумом более подробно. Ленточная опора, как вид конструкции, используется в системах «масса-пружина» (рис. 1). Основной плюс такой опоры — эффективная компенсация вибрации, которая возникает во время движения поезда за счет относительно большой площади оснований. При внедрении ленточной опоры можно получить снижение негативно влияющих на человека при долгосрочном воздействии частот верхнего строения пути при меньших затратах. Положительным эффектом является снижение вибрации и шума.

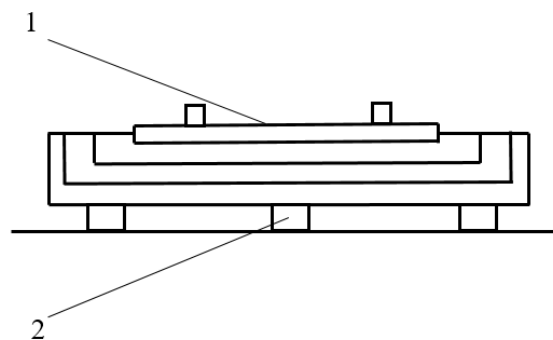


Рис. 1. Вариант схемы установки ленточных опор: 1 — рельсовое полотно; 2 — ленточные опоры

Материалы, применяемые в системе «масса-пружина» должны обладать рядом свойств: сопротивление кратковременным, пиковым нагрузкам, иметь мелкоячеистую, статическую структуру, что дает возможность в процессе эксплуатации сохранять полезную эффективность опор.

Точечные опоры возможно использовать только при конкретной конструкции. Плиты из монолитного бетона поднимают, опоры устанавливаются через специальные установочные отверстия (рис. 2). Стоит заметить, что площадь опоры крайне мала, при проектировании опор такой конструкции необходимо учитывать горизонтальные силы, которые возникают во время движения поезда. Для ограничения горизонтальных сдвигов в соответствии с заданными параметрами необходимо найти оптимальное соотношение между модулем сдвига, эластичностью материала, толщиной и площадью опоры.

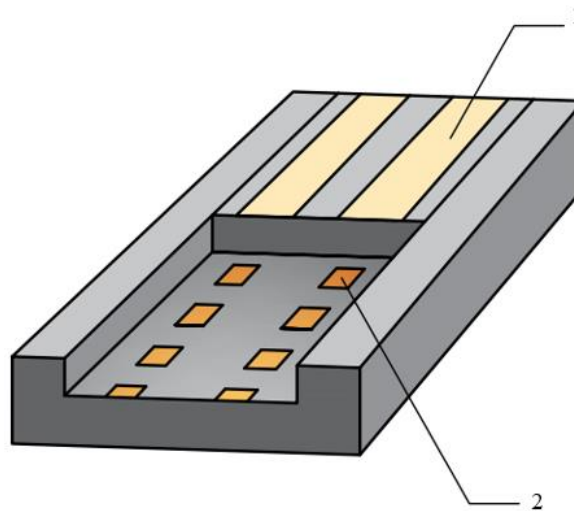


Рис. 2. Вариант схемы установки точечных опор: 1 — рельсовое полотно; 2 — точечные опоры

После установки точечные опоры могут обеспечить защиту от структурных шумов и снизить собственные частоты. Использование таких систем позволяет достичь минимизации шумов вплоть до 30 дБ и более. Основная сложность в использовании такого метода заключается в сложной установке, зависимости от конструкции плит, высокой стоимости установки и планового ремонта.

Одним из действенных и сравнительно бюджетных методов снижения шума от системы «колесо-рельс» в источнике образования является снижение звукоизлучения рельса. Это достигается путем установки вибродемпфирующих пластин [1].

Вибродемпфирующая пластина представляет собой накладку, которая устанавливается на рельсы с целью звукопоглощения. Преимущество пластин заключается в том, что они предотвращают распространение шума на окружающую территорию. Благодаря своему конструктивному составу они поглощают вибрации, возникающие в системе «колесо-рельс», и, тем самым, предотвращают образование шума в рельсе. В случае движения поезда, при контакте колеса с рельсом, генерируется шум с переменным спектром. Рельсовый демпфер работает по системе поглощения вибраций на частотах с наибольшим уровнем шума. Один из вариантов схем вибродемпфирующей накладки представлен на рис. 3.

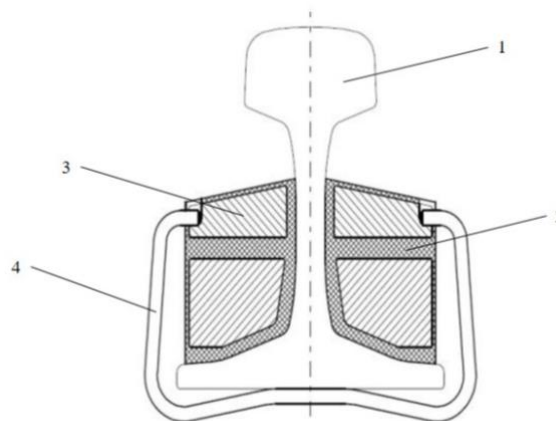


Рис. 3. Вариант схемы установки вибродемпфирующей пластины:  
1 — рельс; 2 — накладка; 3 — наполнение накладки; 4 — крепление накладки

В ряде диапазонов частот (низких и высоких) структура пластин не подходит для снижения уровня шума. С другой стороны, в случае частот, характерных для большей части генерируемого шума, накладка является наиболее эффективным методом минимизации. Рельсовая накладка, предотвращающая распространение вибрации, также способствует качественному снижению вибрационного воздействия.

Авторами предложено провести модернизацию существующих методов снижения шумового и вибрационного загрязнения путем использования более экономичных материалов накладок и матов без полной реконструкции рельсового полотна.

**Результаты исследования.** Рельсовые накладки обычно снижают уровень шума примерно на 3–4 дБ, при улучшении конструкции — на 5–8 дБ. Авторами на основе анализа исследований построен график с результатами измерений (рис. 4)<sup>5</sup>. Предлагается несколько путей улучшения конструкции для получения лучшего результата минимизации шума за счет применения современных конструкций, таких как непрерывный сварной рельс, упругое крепление рельсов, antivибрационные маты и гибкие прокладки под рельсами. Следует учитывать, что такие улучшения доступны только при замене либо прокладке нового железнодорожного полотна. Недостатком представленных мероприятий является высокая стоимость и сложность установки.

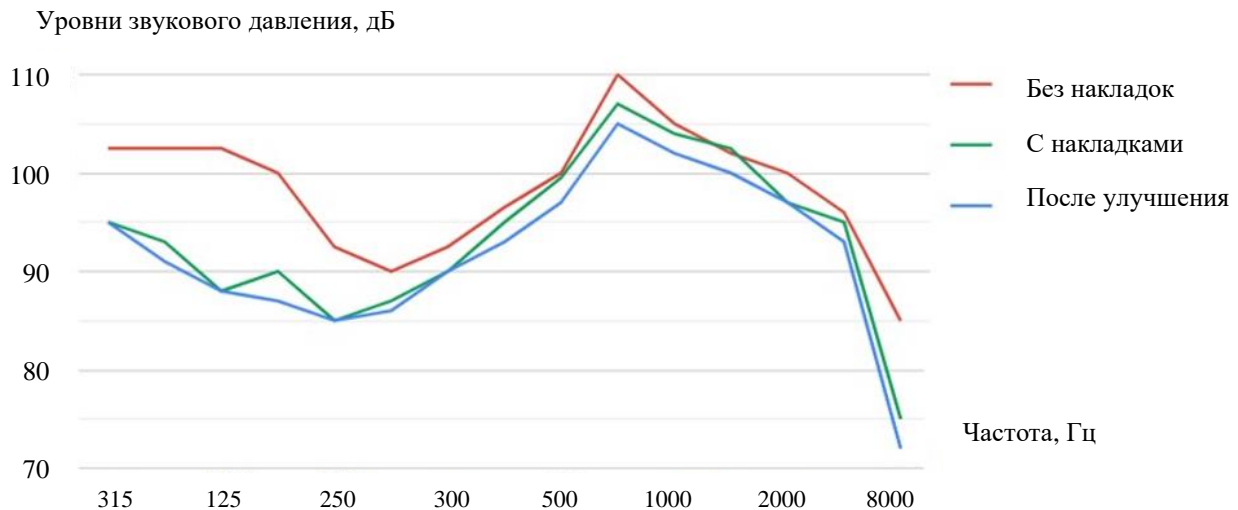


Рис. 4. График с результатами измерений

При проведении измерений должно быть исключено влияние шума других транспортных средств и объектов промышленности на результаты измерений. Путем анализа доступных вариантов был найден бюджетный и сравнительно простой вариант улучшения — использование системы матов из переработанных отходов синтетического волокна, которые будут повторять форму рельсов. Он состоит из 3 или 5 частей, которые размещаются между рельсами и рядом с ними, при этом комбинация значительно снижает шум от железнодорожного движения (рис. 5). Стоит отметить, что при использовании сырья для изготовления мата из вторичных материалов, можно будет снизить стоимость матов до 20–30 % и более. Стоит отметить, что использование материалов, в производстве которых используется резиновая крошка в количестве более 60 %, также могут быть использованы в качестве замены наполнения накладки вибродемпфирующей пластины.

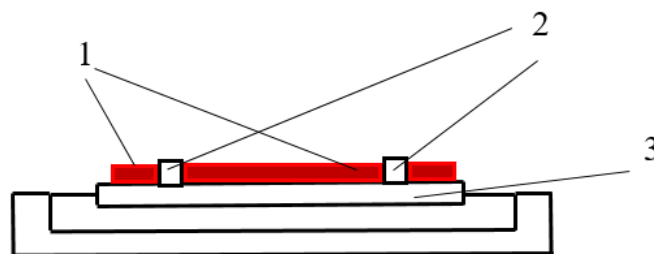


Рис. 5. Вариант схемы установки системы матов: 1 — система матов; 2 — рельсы; 3 — рельсовое полотно

При рассмотрении использования системы матов стоит выявить все стороны финансового вопроса. Экономическая оценка эффективности затрат на охрану среды необходима для наиболее рационального использования ограниченных материальных и финансовых ресурсов предприятия или организации [9]. Она

<sup>5</sup> ГОСТ 32203 — 2013. Железнодорожный подвижной состав. Акустика. Измерение внешнего шума / ВНИИММАШ; Федеральное агентство по техническому регулированию и метрологии. М., 2014. 20 с.

служит для оценки уже полученных преимуществ (или недостатков), определения наиболее подходящего варианта для экологического проекта, а также для определения объема затрат, необходимых для достижения оптимальных экологических и экономических результатов. При разработке выбора варианта внедрения нового оборудования или технологии, направленных на экологизацию производства, следует учитывать безопасность для здоровья человека и окружающей среды, а также экологичность применяемых технологий и материалов.

Для создания модели расчета экономической эффективности при реализации нового метода снижения уровня шума и вибрации используем методику, описанную в [10], по которой будут произведены основные вычисления по пунктам. Экономическая оценка мероприятий по минимизации и защите от шума рассчитывается как расчет годового экономического эффекта при использовании мероприятий. Экономический эффект за год находится путем расчета разности между результатом, который получен при применении мероприятий по защите, и годовых затрат на эти мероприятия [11].

На основе анализа открытых источников принимаем, что лист вибродемпфирующего мата стоит от 3,5 тыс. руб. за лист размером от одного м<sup>2</sup>. В результате расчетов представлена модель экономической эффективности от внедрения применения системы матов, проиллюстрированная таблицей 2.

Таблица 2

Модель экономической эффективности при использовании улучшения метода минимизации шумового и вибрационного воздействия

Экономический эффект от мероприятий по защите от шума, Р, тыс.руб./год	Траты на шумозащитные мероприятия, составленные на один год, ПЗ, тыс. руб./год	Экономический эффект за год, Э, тыс. руб./год
909	264	645

**Обсуждение и заключения.** Для минимизации вредного виброакустического воздействия авторами предложена мера по улучшению одного из применяемых методов — установка вибродемпфирующих накладок. Для их производства может использоваться вторичное сырье в виде резиновой крошки в количестве более 60 % от объема материала. Такой вариант улучшений имеет преимущество в местах, где планируется плановый ремонт накладок, а также там, где накладки еще не установлены.

Путем модернизации можно достигнуть снижения уровня шума на 5–8 дБ, удешевления материала и упрощение установки пластин. Годовой экономический эффект от внедрения данного способа улучшения условий труда при эксплуатации железнодорожного транспорта составляет порядка 645 тыс. руб.

#### Список литературы

1. Соколов, Д. А. Характеристика шумового загрязнения и вибрации железнодорожного транспорта. Минимизация воздействия шума и вибрации на работников железнодорожного транспорта / Д. А. Соколов // Студент и наука. — 2022. — № 1(20). — С. 65–67.
2. Чеботарев, А. Г. Виброакустические факторы рабочей среды при подземной и открытой добыче твёрдых полезных ископаемых / А. Г. Чеботарев, Ю. П. Пальцев // Горная промышленность. — 2012. — № 5(105). — С. 50–54.
3. Пономарев, В. М. Исследования уровней звука в кабинах локомотивов в условиях эксплуатации / В. М. Пономарев, Д. Н. Васильева // Наука и техника транспорта. — 2016. — № 2. — С. 29–34.
4. Готлиб, Я. Г. Вопросы ограничения шума для оценки условий труда / Я. Г. Готлиб, Н. П. Алимов, В. Н. Азаров // Международный научный журнал Альтернативная энергетика и экология. — 2013. — № 13(135). — С. 70–83.
5. Ярусов, Н. И. Шум как вредный производственный фактор / Н. И. Ярусов, В. В. Окулова // Безопасность в профессиональной деятельности. — 2021. — С. 294–298.
6. Анализ и оценка безопасности при эксплуатации дробеструйного аппарата в литейном производстве / В. Я. Манохин, Л. Ф. Дроздова, Е. И. Головина, Д. А. Соколов // Безопасность техногенных и природных систем. — 2022. — № 2. — С. 36–42. <https://doi.org/10.23947/2541-9129-2022-2-36-42>
7. Сальникова, Л. А. / Анализ влияния шума и запыленности на железобетонном производстве / Л. А. Сальникова, Д. А. Соколов, Е. И. Головина // Градостроительство. Инфраструктура. Коммуникации. — 2022. — № 1(26). — С. 48–50.
8. Канев, Н. Г. Прогноз вибрации рельсового транспорта при проектировании виброизоляции фундаментов зданий. / Н. Г. Канев // Фундаменты. — 2020. — № 2. — С. 51–52.

9. Петрова, Е. Е. Анализ эффективности природоохранных затрат в инвестиционном анализе / Е. Е. Петрова // Вектор науки Тольяттинского государственного университета. — 2010. — № 4(14). — С. 252–255.

10. Суетина, Т. А. Методика оценки экономической эффективности инвестиций во внедрение мероприятий бережливого производства / Т. А. Суетина, Д. М. Сафина // Российское предпринимательство. — 2018. — Т. 19. — № 10. — С. 3085–3094.

11. Ушакова, Е. О. Методика определения экономической эффективности затрат на природоохранные мероприятия // Гео-Сибирь. — 2006. — Т. 6. — С. 185–190

Поступила в редакцию 09.12.2022.

Поступила после рецензирования 26.12.2022.

Принята к публикации 26.12.2022.

*Об авторах:*

**Головина Елена Ивановна**, заместитель декана по учебной работе, факультет инженерных систем и сооружений, доцент кафедры «Техносферная и пожарная безопасность» Воронежского государственного технического университета (394006, РФ, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, д. 84), [ORCID, u00111@vgasu.vrn.ru](https://orcid.org/0001111@vgasu.vrn.ru)

**Соколов Дмитрий Алексеевич**, студент кафедры «Техносферная и пожарная безопасность» Воронежского государственного технического университета (394006, РФ, г. Воронеж, ул. 20-летия Октября, д. 84), [ORCID, dmitriysokolov598@gmail.com](https://orcid.org/dmitriysokolov598@gmail.com)

*Заявленный вклад соавторов:*

Е. И. Головина — научное руководство, формирование основной концепции, цели и задачи исследования. Д. А. Соколов — проведение эксперимента, анализ результатов исследований, подготовка и оформление текста статьи, формирование выводов.

*Конфликт интересов.*

Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

*Все авторы прочитали и одобрили окончательный вариант рукописи.*