

На правах рукописи



Райлян Дмитрий Анатольевич

Обеспечение безопасных условий труда работников железнодорожного транспорта за счет снижения виброакустического воздействия подвижного состава

2.10.3. Безопасность труда

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Москва – 2025

Работа выполнена в федеральном государственном автономном образовательном учреждении высшего образования «Российский университет транспорта» РУТ (МИИТ)

Научный руководитель: Сачкова Оксана Сергеевна,
профессор, доктор технических наук, заместитель
директора по инновационной работе ФГУП
ВНИИЖГ Роспотребнадзора

Официальные оппоненты: Шварцбург Леонид Эфраимович,
профессор, доктор технических наук, заведующий
кафедры инженерной экологии и безопасности
жизнедеятельности ФГБОУ ВО «Московский
государственный технологический университет
«Станкин»»

Самошкин Олег Сергеевич,
кандидат технических наук, заместитель
начальника Управления технической политики и
транспортного обеспечения – начальник
производственно-технического отдела
Акционерного общества «Федеральная
пассажирская компания» (АО «ФПК»)

Ведущая организация: федеральное государственное бюджетное
образовательное учреждение высшего образования
«Петербургский государственный университет
путей сообщения Императора Александра I»

Защита состоится 04 декабря 2025 г., в 10.00 на заседании
диссертационного совета 40.2.002.13 на базе федерального государственного
автономного образовательного учреждения высшего образования «Российский
университет транспорта» по адресу: 127994, г. Москва, ул. Образцова, д. 9,
стр. 9 (ул. Часовая, д. 22/2, ауд. 329.)

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте РУТ
(МИИТ), www.miit.ru.

Автореферат разослан «__» _____ 2025 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета

Киселева Екатерина Александровна

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Многочисленные отечественные и зарубежные исследования показали, что виброакустическое воздействие, вызванное движением рельсового транспорта, являются одной из главных причин раздражения и вредного воздействия на здоровье и работоспособность специалистов, осуществляющих свою профессиональную деятельность в непосредственной близости к линейным объектами железнодорожного транспорта. К таким профессиональным группам относятся дежурные стрелочных постов и дежурные по переезду. Установлено, что хронический стресс, вызванный длительным воздействием сверхнормативного уровня виброакустических факторов, может привести к снижению работоспособности, утрате соматического здоровья и профессиональной пригодности для выполнения работ с повышенными требованиями к безопасности.

В мировой практике существует большой спектр вибро- и шумозащитных мероприятий. К ним относятся группы мероприятий снижающих виброакустическое воздействие в источнике его образования, на пути распространении и на воспринимающем объекте. Эффективность мер вибро- и шумозащиты, используемых для снижения виброакустического дискомфорта работников, осуществляющих круглосуточную профессиональную деятельность в непосредственной близости к источнику, исчерпана. В настоящее время в практику виброзащиты от транспортных средств при строительстве и реконструкции верхнего строения железнодорожного пути стали внедряться материалы зарубежного производства.

Отсутствие в Российской Федерации материалов отечественного производства и единичные случаи применения виброзащитных материалов зарубежного производства не покрывают возрастающую потребность в применении данных материалов.

Степень разработанности темы исследования.

В основу работы положены результаты исследований известных отечественных ученых: Г.В. Бутаков, Э.И. Денисов, В.Г. Демченко, Н.И. Иванов, Н.Ф. Измеров, И.В. Колесников, Д.А. Куклин, Н.А. Куралесин, П.В. Матвеев, С.Ф. Подуст, Ю.В. Пронников, Г.А. Суворов, Л.Э. Шварцбург, Т.А. Финоченко, И.Е. Цукерников, А.Н. Чукарин, А.Е. Шашурин, И.Л. Шубин, И.А. Яицков, О.С. Самошкин и др. и зарубежных ученых: С.Л. Вульфе,

Л.Г. Курцвайль, П.Дж. Ремингтон, Р. Симокура, Ю. Созта, К. Стэнурф, Д. Томпсон и др.

Объект исследования – условия труда дежурных сменных помощников начальника станции, дежурных стрелочных постов и дежурных железнодорожных переездов.

Предмет исследования – подбалластные маты, с различными характеристиками виброгашения.

Цели и задачи исследования – обоснование обеспечения безопасных условий труда дежурных сменных помощников начальника станции, дежурных стрелочных постов и дежурных железнодорожных переездов за счет применения виброзащитных матов для снижения виброакустического воздействия от подвижного состава.

Для реализации цели были поставлены следующие **задачи**:

1. Провести анализ интенсивности воздействия виброакустических факторов условий труда дежурных сменных помощников начальника станции, дежурных стрелочных постов и железнодорожных переездов.

2. Изучить отечественный и зарубежный опыт применения оборудования и материалов для снижения вибрационного воздействия и структурного шума от рельсового транспорта.

3. Разработать Технические условия на изделие «маты подбалластные» для применения на сети железных дорог в целях снижения вибрационного воздействия и структурного шума от подвижного состава.

4. Изучить, оценить и проанализировать санитарно-гигиенические и токсикологические характеристики образцов материала матов подбалластных.

5. Разработать технологический процесс применения матов подбалластных при новом строительстве, реконструкции, проведении капитальных и средних ремонтов железнодорожного пути всех уровней.

6. Провести натурные измерения вибрации, оценить и проанализировать результатов натурных испытаний и моделирования снижения вибрационного воздействия за счет применения матов подбалластных.

7. Оценить эффективность использования матов подбалластных для снижения вибрационной нагрузки на работающих в непосредственной близости от железнодорожных путей.

Научная новизна.

Впервые, при оценке условий труда дежурных сменных помощников начальника станции, дежурных стрелочных постов и дежурных железнодорожных переездов воздействие виброакустических факторов в условиях напряженности трудового процесса определено как основной фактор снижения работоспособности.

Проведенные исследования впервые позволили установить физико-механические, санитарно-гигиенические и токсикологические характеристики материала, используемого для производства матов подбалластных.

Измерение, оценка и анализ результатов натурных испытаний и моделирования распространения вибрационного воздействия, в условиях применения матов подбалластных, впервые позволили получить сведения о вибро- и шумозащитных свойствах материалов отечественного производства.

Комплекс проведенных исследований позволил рекомендовать использование матов подбалластных для снижения неблагоприятного воздействия виброакустических факторов рабочей среды дежурных стрелочных постов и железнодорожных переездов.

Теоретическая и практическая значимость работы заключается в разработке санитарно-гигиенических и физико-механических требований к матам подбалластным для производства работ по новому строительству, реконструкции, капитальному и среднему ремонту пути с использованием щебнеочистительных машин тяжелого типа в целях снижения вибрационного воздействия и структурного шума от подвижного состава.

Разработаны и внедрены нормативно-технические документы, регламентирующие опытный технологический процесс применения (укладку) матов подбалластных при новом строительстве, реконструкции, проведении капитальных и средних ремонтов железнодорожного пути всех уровней.

По результатам исследований и натурных измерений на железнодорожных путях при применении матов подбалластных доказано снижение вибрационного воздействия на частотах 16, 31,5 и 63 Гц. Ранее данная технология не применялась на территории РФ ввиду отсутствия требований к материалам такого вида.

Методология и методы исследования.

Для решения поставленных задач был использован комплекс методов – аналитические, физико-механические, токсикологические, санитарно-

гигиенические исследования образцов; исследования виброакустического воздействия; расчет показателей и оценка риска для здоровья работников на участках с использованием и без использования матов подбалластных, статистическая обработка результатов исследования и математическое моделирование с использованием программного комплекса АРМ- Акустика.

Положения, выносимые на защиту:

1. Использование матов подбалластных на земляном полотне и искусственных сооружениях в створе зданий железнодорожных переездов и стрелочных постов позволит улучшить условия труда, работников за счет снижения структурного шума и вибрационного воздействия от подвижного состава на частотах 16, 31, 63 Гц.

2. Технические условия на маты подбалластные, включающие физико-механические, токсикологические и санитарно-гигиенические требования, а также технологию их укладки.

3. Разработанные и согласованные нормативные документы обеспечат широкий полигон внедрения матов подбалластных для снижения виброакустического воздействия на работников ОАО «РЖД» и жителей прилегающих территорий до норм СанПиН 1.2.3685-21.

Степень достоверности и апробация результатов:

Достоверность научных положений и рекомендаций подтверждается: достаточным объемом аналитических, лабораторных и экспериментальных исследований; использованием утвержденных методов физико-механических, гигиенических и токсикологических исследований и современных поверенных приборов; применением адекватных методов обработки полученных материалов.

Основные положения и результаты диссертации были представлены и обсуждались на форуме по реализации Экологической стратегии РЖД на полигоне Октябрьской железной дороги (26.10.2022), I Международной практической конференции СибНИИ мостов «Исследование, проектирование, строительство и эксплуатация мостов: проблемы и пути их решения на протяжении жизненного цикла» (18.04.2022), Современные подходы к обеспечению гигиенической, санитарно-эпидемиологической и экологической безопасности на железнодорожном транспорте (15.12.2023, Москва), XIV Всероссийской научно-практической интернет-конференция молодых ученых и специалистов Роспотребнадзора «Гигиена, окружающая

среда и риски здоровью в современных условиях» (25.04.2024), II Международной научно-практической конференции СибНИИ Мостов (20.04.2024), Питч сессии НЦИР Октябрьской железной дороги по отбору инновационных проектов для тиражирования, соответствующих запросам на инновации ОАО «РЖД» (15.04.2024).

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и 5 приложений. Работа изложена на 133 страницах, в том числе: 107 страниц основного текста, 32 рисунков, 44 таблицы. Список литературы содержит 118 наименований.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении обоснована актуальность темы диссертационного исследования, степень ее разработанности, научная новизна, определены цели и задачи исследования, сформулированы положения, выносимые на защиту, представлены степень достоверности и апробации результатов исследования

В первом разделе «Результаты исследования и оценки виброакустической нагрузки и методов ее снижения на работников, осуществляющих профессиональную деятельность в непосредственной близости

от эксплуатируемого подвижного состава» проведен анализ условий безопасности труда работников железнодорожного транспорта при воздействии структурного шума от подвижного состава и анализ отечественного и зарубежного опыта применения оборудования и материалов для снижения вибрационного воздействия и структурного шума от подвижного состава.

Линейные объекты железнодорожного грузового, железнодорожного городского и автомобильного транспорта создают акустическую нагрузку, превышающую гигиенические нормативы на нормируемых расстояниях (25м, 7,5м соответственно). Расчетные показатели риска здоровью населения, раздражения на шум и предъявления жалоб на шум характеризуются как «чрезвычайно высокие». Развитие сети железных дорог в соответствии с Транспортной стратегией РФ до 2030 года утвержденной правительством РФ от 27.11.2021 № 3363-р и увеличение грузо-оборота и пассажиро-потока на существующих направлениях приведет к значительному увеличению вибрационного воздействия на работников железнодорожного транспорта

и население. Таким образом остро возникает вопрос о необходимости проведения защитных мероприятий, направленных на снижение вибрационного воздействия, создаваемого железнодорожным транспортом.

Проанализировано 16 нормативно-технических документов. В каждом из них прописано необходимость принятия мер по соблюдению норм вибрационного воздействия на работников и гражданских лиц, есть перечень определенных мероприятий, направленных на снижение вибрационного воздействия, но отсутствуют технические требования к материалам.

Результаты сравнительной оценки показателей вибрации на различных участках пути при прохождении поезда приведены в таблице 1. Акустические характеристики различных видов железнодорожного транспорта приведены в таблицах 2.

Таблица 1 – Значения показателей вибрации при прохождении разных участков.

Эквивалентные уровни виброускорения (дБ), по октавным полосам со среднегеометрическими частотами, Гц	Фон, дБ			При движении поезда, дБ		
	x	y	z	x	y	z
1	2	3	4	5	6	7
Начало участка на расстоянии 8м от ж/д пути						
2	69,1	64,4	70,1	92,1	78,9	75,5
4	69,8	60,5	64,4	80,7	61,5	68,4
8	67,7	58,7	58,8	73,9	72,2	68,6
16	64,1	60,2	57,9	104,7	99,0	98,1
31,5	62,4	61,3	59,9	108,0	105,7	105,0
63	59,5	59,3	59,9	95,3	92,9	100,7
Эквивалентные скорректированные уровни виброускорения, дБ	74	68	72	110	107	107

Таблица 2 – Характеристики шума поездов при движении с различными скоростями (25м).

Тип поезда	Скорость, км/час	Уровни звука, дБА
Грузовые	30-90	78-88
Электропоезда	40-120	76-90
Пассажирские	40-130	78-88
Высокоскоростные поезда «Сапсан»	100-220	68-86
Высокоскоростные	100-150	62-88

В условиях, сложившейся с виброакустической нагрузки на рабочие места, расположенные вблизи линейных объектов железнодорожного транспорта, когда практически все доступные меры шумоподавления исчерпаны, перспективным методом снижения уровней воздушного и структурного шумов, а также вибраций использование виброзащитных матов подбалластных может оказать положительный эффект на качество рабочей среды, работоспособность персонала и, как следствие, на безопасность движения транспорта.

Во втором разделе «Результаты измерения, анализа и оценки виброакустических факторов рабочей среды работников, осуществляющих трудовую деятельность в непосредственной близости к линейным объектам железнодорожного транспорта» рассмотрены результаты измерений и анализа факторов трудового процесса и оценки уровней шума и общей вибрации.

Основными профессиональными группами, круглосуточно осуществляющими профессиональную деятельность в непосредственной близости к линейным объектам железнодорожного транспорта, являются дежурные сменные помощники начальника станции, дежурные стрелочных постов и дежурные железнодорожных переездов.

Оценка шума проведена по показателю рассчитанного для 12-ти часовой рабочей смены его эквивалентного уровня. Сравнение проведено с нормативами шума для рабочей зоны, приведенными в СН 2.2.4/2.1.8.566-96. Оценка вибраций также проведена по показателю рассчитанного для 12-ти часовой рабочей смены их эквивалентного уровня для осей X, Y и Z. Сравнение проведено с предельно допустимыми значениями вибрации на рабочих местах в общественных зданиях, приведенных в СанПиН 1.2.3685-21. Результаты приведены в таблице 3.

Таблица 3 – Результаты оценки показателей шума и вибраций на рабочих местах дежурных по станции и по переезду при 12-ти часовой рабочей смене.

Показатель	Дежурный		Норматив
	По станции	По переезду	
Эквивалентный уровень шума, дБА	68,0 ±1,2	81,1±1,1	80*
Эквивалентный уровень вибрации, X, дБ	83,3±0,8	85,7±1,2	80**
Эквивалентный уровень вибрации, Y, дБ	78,5±0,7	86,7±1,2	80**
Эквивалентный уровень вибрации, Z, дБ	86,3±0,7	86,8±1,2	83**
* СанПиН 1.2.3685-21			
** СН 2.2.4/2.1.8.566-96			

Сочетанное воздействие сверхнормативного уровня вибраций и шума в условиях напряженности трудового процесса негативно скажется на профессиональной трудоспособности изучаемых групп работников и безопасности процесса перевозок железнодорожным транспортом.

В третьем разделе «Разработка специализированных материалов – матов подбалластных для применения на сети железных дорог в целях снижения вибрационного воздействия и структурного шума от подвижного состава» рассмотрена разработка Технических условий с указанием физико-механических свойств виброзащитных материалов, проведены санитарно-гигиеническая оценка и оценка по показателям грибостойкости и долговечности.

В разработанных Технических условиях приведены основные требования по физико-механическим и санитарно-гигиеническим характеристикам для матов подбалластных, таких как статический модуль упругости в интервале напряжений от 0,02 до 0,09 МПа, в зависимости от исполнения матов, должен находится в интервале от 0,28 до 2,88 Мпа, и другие.

Санитарно-гигиенические требования к матам подбалластным приведены в таблице 4.

Таблица 4 – Санитарно-гигиенические требования к матам подбалластным

Наименование показателя	Единица измерений	Нормативное значение	Результаты испытаний
1 Одориметрические испытания	Баллы	Не более 2	2
2 Санитарно-химические испытания	Мг/м ³	Не превышать значений ПДК средне суточные	Превышений ПДК не обнаружено. Не выявлены: амиак, хлорэтен, стирол
3 Индекс токсичности, не более	%	20	12,9

Результаты исследований грибостойкости матов подбалластных приведены в таблице 5.

Таблица 5 – Результаты исследований грибостойкости образцов матов подбалластных после 73 циклов испытания на долговечность

Наименование материала	Номер образца	Внешний вид после испытаний	Балл по ГОСТ 9.048	Грибостойкость по ГОСТ 9.049
ГОСТ 9.049, метод 1				
Маты подбалластные	1-1	№№ 1-1, 1-2 чистые.	0	ПГС _{12X}
	1-2		0	

Продолжение таблицы 5

1-5	1-3	№№ 1-3, 1-4, 1-5 под микроскопом видны проросшие споры, мицелий не развит	1	
	1-4		1	
	1-5		1	
ГОСТ 9.049, метод 2				
Маты подбалластные 1-5	1-1	№№ 1-1, 1-2, 1-4 под микроскопом виден развитый мицелий, спороношение.	2	ПГС _{12X}
	1-2		2	
	1-3		1	
	1-4	№ 1-3 под микроскопом видны проросшие споры, мицелий не развит.	2	
	1-5		0	
		№ 1-5 чистая		

Формула для расчета долговечности (условного срока службы в годах) полимерных материалов и комплектующих «Д» после появления признаков разрушения или потери внешнего вида:

$$D_1 = \frac{M \cdot P \cdot K}{12} = \frac{3,6 \cdot 73 \cdot 1}{12} = 21,9 \quad (1)$$

По результатам проведенной экспертизы нормативно-технической документации и комплексных экспериментальных исследований, проведенных на базе ФГУП ВНИИЖГ Роспотребнадзора, маты подбалластные, изготовленные по ТУ 22.21.30.110-001-81672649-2018, соответствуют Единым санитарно-эпидемиологическим и гигиеническим требованиям к товарам, подлежащим санитарно-эпидемиологическому надзору (контролю) (Утв. Решением комиссии таможенного союза от 28 мая 2010г. №299) (Глава II, раздел 6), СанПиН 1.2.3685-21 «Гигиенические нормативы и требования к обеспечению безопасности и (или) безвредности для человека факторов среды обитания», МР 01.018-07 «Методика определения токсичности химических веществ, полимеров, материалов и изделий с помощью биотеста «Эколюм» и могут использоваться для применения при строительстве железнодорожных путей общего и необщего пользования, а также на других объектах транспортной инфраструктуры.

Результаты проведенных исследований позволяют сделать вывод о сохранности защитных свойств матов подбалластных в натуральных условиях эксплуатации в течение не менее 20 лет.

В четвертом разделе «Результаты измерения и прогноза уровней вибрационного и шумового воздействия в зданиях и сооружениях от воздействия подвижного состава» выполнены прогнозный расчет уровней вибрационного воздействия при новом строительстве и реконструкции железнодорожных путей, натурные замеры вибрационного воздействия, экспериментальные исследования шумо-виброгашения и оценка уровня снижения риска здоровью при использовании матов подбалластных.

В соответствии с п. 5.2.3.1 СП 441.1325800.2019 допускается определять виброскорость колебаний грунта v , м/с, в точке на расстоянии r , м, от источника колебаний по известной виброскорости v_0 , м/с, колебаний грунта на расстоянии r_0 , м, от оси ближнего железнодорожного пути произведением ее на коэффициент геометрического ослабления C и коэффициент демпфирования материала D по формуле:

$$v(r) = v(r_0) \cdot C \cdot D \quad (2)$$

Параметры C и D , входящие в формулу (1), оценивают по следующим зависимостям по ГОСТ Р ИСО 10137-2016:

$$C = \left(\frac{r_0}{r}\right)^n, \quad (3)$$

$$D = e^{-\rho\pi f_{cr}(r-r_0)}, \quad (4)$$

По произведенным расчетам выявлены участки с необходимостью проверки уровней вибрации для жилых и административно-технических помещений в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21. Для получения фактических уровней вибрации были выполнены измерения на существующих линиях и объектах-аналогах, которые показали превышение ПДУ в среднегеометрических октавных частотах 31,5 и 63 Гц.

В соответствии с ГОСТ Р ИСО 2017-2-2011, п.7, п.7.1.1 СП 441.1325800.2019 - при возведении новых зданий и сооружений или при установке нового оборудования вблизи эксплуатируемого железнодорожного пути предпочтительным, наиболее экономичным и эффективным способом защиты от вибрационного воздействия создаваемым железнодорожным подвижным составом является изолирование источника вибрации.

В соответствии с СП 441.1325800.2019 были произведены расчеты прогнозируемых уровней вибрационного воздействия результаты приведены в таблице 6.

Таблица 6 – Результаты вычисления корректированного уровня виброускорений и гигиеническая оценка постоянной вибрации

Тип ПС	Расстояние до здания, м	Макс. расчет. уровни виброускорений				Коррект. уровень
		8 Гц	16 Гц	31,5 Гц	63 Гц	
1	2	3	4	5	6	7
Пассажирский X	10	90,7	90,3	82,4	84,7	87,2
Пассажирский У	10	89,5	97,2	75,7	84,9	89,5
Пассажирский Z	10	92,9	91,6	84,0	82,3	89,2
Пассажирский X	20	88,4	87,0	77,5	76,4	84,6
Пассажирский У	20	87,2	93,9	70,8	76,6	86,6
Пассажирский Z	20	90,6	88,3	79,1	74,0	86,7
Пассажирский X	30	86,6	84,4	73,2	68,6	82,7
Пассажирский У	30	85,4	91,3	66,5	68,8	84,3
Пассажирский Z	30	88,8	85,7	74,8	66,2	84,8
Пассажирский X	40	85,1	82,0	69,1	61,1	81,1
Пассажирский У	40	83,9	88,9	62,4	61,3	82,4
Пассажирский Z	40	87,3	83,3	70,7	58,7	83,2
Грузовой X	10	93,1	107,9	83,2	87,3	98,8
Грузовой У	10	94,2	99,9	82,1	85,8	93,0
Грузовой Z	10	91,3	91,3	57,5	82,6	87,9
Грузовой X	20	90,8	96,4	78,3	79,0	89,6
Грузовой У	20	91,9	96,6	77,2	77,5	90,2
Грузовой Z	20	89,0	88,0	52,6	74,3	85,3
Грузовой X	30	89,0	93,8	74,0	71,2	87,3
Грузовой У	30	90,1	94,0	72,9	69,7	88,0
Грузовой Z	30	87,2	85,4	48,3	66,5	83,4
Грузовой X	40	87,5	83,0	69,9	63,7	83,3
Грузовой У	40	88,6	91,6	68,8	62,2	86,1
Грузовой Z	40	85,7	83,0	44,2	59,0	81,7

Оценка эффективности снижения шума при использовании подбалластных матов в конструкции Железнодорожного путепровода на Комсомольской площади под IV главный путь выполнена по методике расчета структурного шума. Визуализация проведена с помощью сертифицированного программного обеспечения «АРМ-акустика 3D»

На рисунках 1-4 приведена карта шума от движения поезда, в таблице 4.2 – результаты расчета в трех точках, расположенных в прямом поле источников звука в условиях использования подбалластных матов.

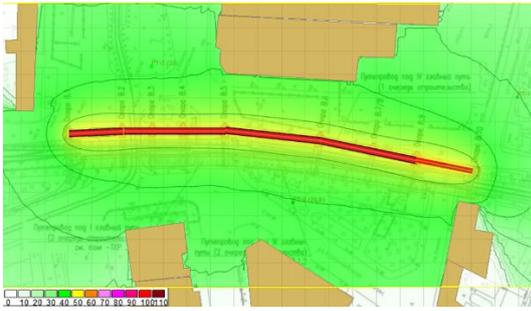


Рисунок 1 – Карта шума от движения пассажирского поезда со скоростью 80 км/ час по мосту без подбалластных матов



Рисунок 2 – Карта шума от движения пассажирского поезда со скоростью 80 км/ час по мосту с подбалластными матами

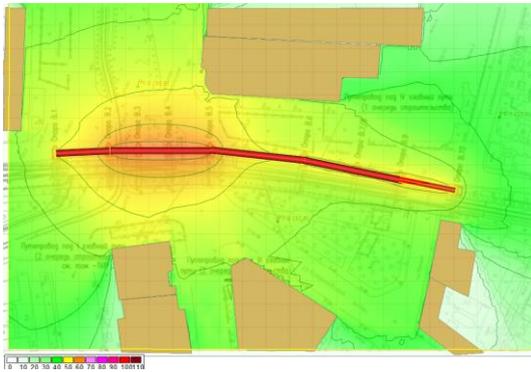


Рисунок 3 – Карта шума от движения пассажирского поезда по стальному мосту со скоростью 60 км/ час без подбалластных матов

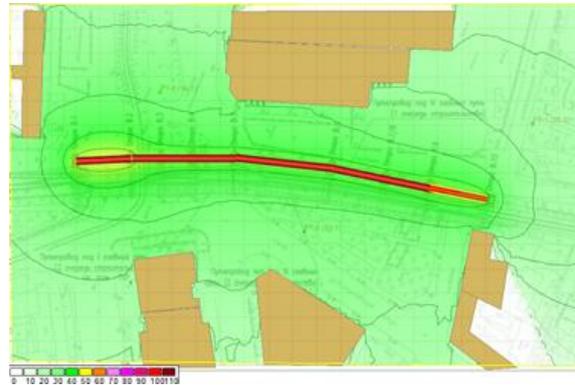


Рисунок 4 – Карта шума от движения пассажирского поезда по стальному мосту со скоростью 60 км/ час с подбалластными матами

Подбалластные маты Gener V2 за счет увеличения эластичности пути снижают уровень вибрации, предотвращают формирование переизлученного шума и, как следствие, уровень акустической нагрузки на территорию.

Согласно результатам расчетов уровень эквивалентного шума в окрестности железнодорожного путепровода на Комсомольской площади под IV главный путь и на территории ближайшей жилой застройки за счет укладки подбалластных матов снижается на 9,9 – 12,3 дБА. Прогнозируемый уровень шума на территории ближайшей жилой застройки в окрестности железнодорожного путепровода на Комсомольской площади под IV главный путь не превышает гигиенические нормативы для территории в ночное время суток (55 дБА и 70 дБА соответственно).

В таблице 7 предоставлены расчетные показатели снижения уровня шумового воздействия за счет укладки подбалластных матов на участке Москва-Пассажирская-Курская – Москва-Каланчевская.

Таблица 7 – Расчетные показатели эффективности шумоподавления подбалластных матов при движении пассажирского поезда на моделируемом участке металлического искусственного сооружения.

Источник шума – движение пассажирского поезда, 25 м		Номер расчетной точки, РТ	Эквивалентный уровень структурного шума, дБА		
			Без матов	При использовании матов	Эффективность, дБА
Лэкв	Лмакс		60 км/ час		
73	78	РТ1 -68 м	66,2	54,2	12,0
71	75	РТ2-51м	64,8	53,1	11,7
70	74	РТ3 -50м	64	52,4	11,6
			80 км/ час		
70,2	77,5	РТ1 -68 м	63,2	50,9	12,3
74	79,1	РТ2-51м	65,7	53,9	11,8
74,2	79,6	РТ3 -50м	66,2	54,5	11,7
			90 км/ час		
69,9	74,8	РТ1 -68 м	63	51,1	11,9
73,2	78,4	РТ2-51м	65,6	53,9	11,7
72,8	77,4	РТ3 -50м	64,8	54,9	9,9

Измерения произведены для шести сечений, в каждом из которых контрольная точка ТИ1 была расположена на расстоянии 8 метров от оси крайнего пути, а ТИ2 – на расстоянии 16 метров.

Схема расположения точек измерения ТИ1, ТИ2 для I и IV пути на плане представлена на рисунке 5.

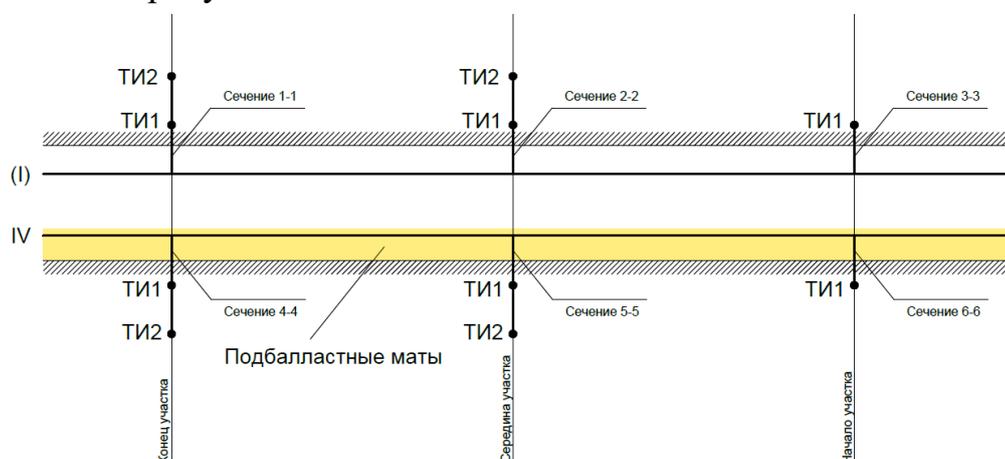


Рисунок 5 – Схема расположения точек измерения ТИ1, ТИ2 для I и IV пути на плане

Таблица 8 – Измеренные значения при прохождении двух разных участков (середина участка на расстоянии 16 м* от ж/д пути)

Эквивалентные уровни вибрации (дБ), по октавным полосам со среднегеометрическим и частотами, Гц	IV путь км2 ПК5 участок с уложенными матами подбалластными (сечение 5-5, ТИ2)			I путь км2 ПК5 участок без матов подбалластных (сечение 2-2, ТИ2)			Разница между значениями		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
2	62,0	61,4	69,6	94,5	68,0	70,5	-32,5	-6,6	-0,9
4	58,5	58,3	63,9	82,9	61,4	65,1	-24,4	-3,1	-1,2
8	60,3	58,5	59,9	73,7	68,7	65,8	-13,4	-10,2	-5,9
16	65,6	63,6	65,4	90,8	91,4	85,8	-25,2	-27,8	-20,4
31,5	70,5	70,5	72,7	101,0	102,7	96,1	-30,5	-32,2	-23,4
63	76,5	76,3	73,0	100,4	96,6	91,6	-23,9	-20,3	-18,6
Эквивалентные скорректированные уровни вибрации, дБ	78	78	77	105	104	98	-27	-26	-21

*- Расстояние 16 м от ж/д пути находилось на территории строительной площадки с работающей строительной техникой.

По данным таблицы 8 можно заключить, что укладка подбалластных матов позволяет снизить вибрационное воздействие на расстоянии 16 метров от железнодорожного пути. В частоте 2 Гц максимальное снижение вибрации достигает 32,5 дБ, в частоте 4 Гц – 24,4 дБ, в частоте 8 Гц – 13,4 дБ, в частоте 16 Гц – 27,9 дБ, в частоте 31,5 Гц – 38,6 дБ, в частоте 63 Гц – 38,1 дБ.

Дополнительно проведены расчеты различных видов риска в условиях существующей акустической нагрузки и при внедрении в процесс шумозащиты от железных дорог матов подбалластных, данные отражены в таблицах 9, 10 и на рисунке 7.

Расчеты экологического риска базируются на вероятности развития заболеваний, связанных с шумовым фактором (органы слуха, нервной системы, сердечно-сосудистой системы), определяемого по формуле 5:

$$\begin{cases} R_{70}^{Асл} = R_t^{Асл} + [0,0118 \cdot R_t^{Асл} + 0,001 \cdot \langle L_{ЭКВ} \cdot (1 - R_t^{Асл}) | 50 - 1 \rangle] \cdot C \\ R_{70}^{Асс} = R_t^{Асс} + [0,052 \cdot R_t^{Асс} + 0,015 \cdot \langle L_{ЭКВ} \cdot (1 - R_t^{Асл}) | 58,5 - 1 \rangle] \cdot C \\ R_{70}^{Анс} = R_t^{Анс} + [0,0074 \cdot R_t^{Анс} + 0,0016 \cdot \langle L_{ЭКВ} \cdot (1 - R_t^{Асл}) | 43 - 1 \rangle] \cdot C \end{cases} \quad (5)$$

Таблица 9 – Динамика риска жалоб населения на шум (% населения)

Эквивалентный уровень звука	Количественная вероятность жалоб на шум
45	6
55	5,3
60	12,1
65	23,4
70	39,0

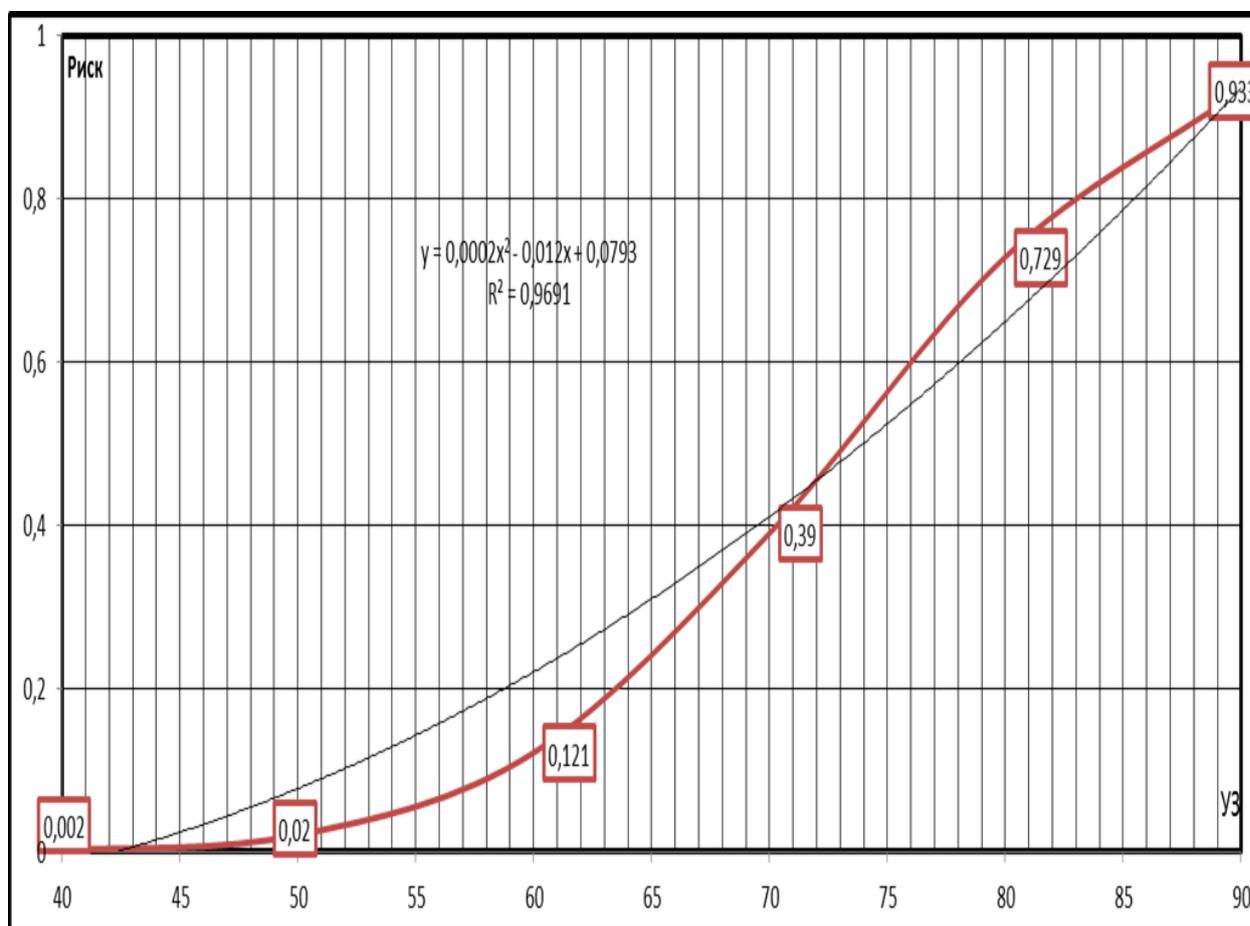


Рисунок 6 – Динамика количественной вероятности жалоб на шум

Линейные объекты железнодорожного транспорта создают акустическую нагрузку, превышающую гигиенические нормативы на нормируемом расстоянии (25м). Расчетные показатели риска здоровью населения, раздражения на шум и предъявления жалоб на шум характеризуются как «чрезвычайно высокие».

Таблица 10 – Результаты расчета показателей риска да участков железной дороги без использования и с использованием матов подбалластных (ПБМ)

Вид риска	Формула расчета	Риск без ПБМ			Риск с ПБМ		
		25м	50м	100м	25м	50м	100м
		Уровень шума дБА			Уровень шума дБА		
		Железнодорожный транспорт грузовое движение					
		77	74	70	51	48	44
Раздражение на шум	$R=100/(1+\exp(10.4-0.132*Lden))$	42,7	31,2	23,9	4,01	2,03	1,14
Патология ССС	$OR=1.63-6.13e-4*Lday^2+7.36e-6*Lday^3$	1,3	1,19	1,15	0,92	0	0
Инфаркт Миокарда	$OR=0/0000001*Lday^2+0.0001*Lday+0.0035$	0,012	0,011	0,010	0,008	0,008	0,008
Доля лиц, раздраженных ночным шумом	$HA=0.5118*(Lden-42)-1.436e-2*(Lden-42)^2+9.868e-4*(Lden-42)^3$	46.4	32,52	24,73	3,87	2,64	1,41
Доля лиц с устойчивым нарушением сна при шуме железной дороги	$HSD=11.3-0.55*Lnight+0.00759*Lnight^2$	15,8	12,67	9,99	2,77	2,14	1.91
Беспокойство во сне (общее количество движений во время сна) (45 лет)	$M=0.0587+0.000192*Lnight-0.00133*ag+0.0000148*ag^2$	0,04	0,04	0,04	0,03	0,03	0,03
Агрегированный риск развития нарушения сердечнососудистой системы(период 24)	$Rcc(t+1)=0.052*Rcc(t)+0.015[(Lden*(1-Rcc(t))/58.5-1]*C$	0,18	0,14	0,12	0,02	0,02	0,02
Развитие неспецифических эффектов	$R(NSP)=0.39894*\exp((-4.551+0.8531*\lg(Dt/0.511/2))$	0,1	0,1	0,1	0,09	0,09	0,09
Жалобы населения на шум	$R(SOC)=0.39894*\exp((-6.5027+0.8891*\lg(Dt/4.8e-4)/2)$	0,57	0,50	0,39	0,02	0,02	0,02
Оценка показателя риска		Чрезвычайно высокий		Высокий	Приемлемый		

Использование виброзащитных подбалластных матов исследуемой эффективности позволит исключить неблагоприятное воздействие вибрации на здоровье работающих, жалобы населения на вибрационное воздействие в жилых и общественных зданиях.

В пятом разделе «Социально-экономическая эффективность предложенных мероприятий» выполнена оценка виброзащитных мероприятий на основе анализа предотвращенного вреда населению, проживающему вблизи линейных объектов железнодорожного транспорта.

В соответствии с СП 441.1325800.2019 и ГОСТ Р ИСО 14837-1-2007 для снижения вибрационного воздействия могут рассматриваться 3 способа:

1) Виброизоляция источника (железнодорожный путь).

В соответствии с СП 441.1325800.2019

2) Виброизоляция на пути распространения. В соответствии с ГОСТ Р ИСО 14837-1-2007 (приложение В)

3) Виброизоляция приемника (защищаемое здание)

Вариант №2 малоэффективен ввиду трудной реализации мер по виброзащите. Вариант №3 экономически целесообразен при строительстве новых зданий вблизи железнодорожных путей.

Укладка матов подбалластных (вариант №1) позволит не только защитить от вибрации и структурного шума уже существующие здания, но и сделает данные участки более привлекательными с точки зрения нового строительства жилых, общественных зданий и государственных учреждений.

Также проведение виброзащитных мероприятий поможет повысить стоимость 1кв.м. земли на участках.

Результаты расчетов социально-экономической эффективности мероприятий представлены в таблице 11.

Таблица 11 – Социально-экономическая эффективность виброзащитных мероприятий.

Категория затрат	Перемещение людей из зданий,	Укладка в путь ПБМ Gener V2	Полная оклейка фундаментов зданий	Частичная оклейка фундаментов зданий
Затраты на материал	-	0,7 – 0,85 млрд. руб	0,97 млрд. руб	1,13 млрд. руб
Затраты на работу	-		>1,6 млрд. руб	1,48 млрд. руб
ИТОГО:	78,30 млрд. руб	0,7-0,85 млрд. руб	>2,57 млрд. руб	2,61 млрд. руб

На рассматриваемых участках нового строительства и реконструкции железнодорожного пути выявлены участки с необходимостью проверки неперевышения уровней вибрации для жилых и административно-технических помещений в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21. Для получения фактических уровней вибрации были выполнены измерения на существующих линиях и объектах-аналогах, которые показали превышение ПДУ в среднегеометрических октавных частотах 31,5 и 63 Гц.

В результате расчета эффективности снижения вибрации от пассажирского мотор-вагонного подвижного состава с помощью укладки матов подбалластных различной толщины (37,5, 50 и 100 мм) необходимая эффективность обеспечивается при укладке матов 37,5 мм на путях и горизонтальной поверхности балластного корыта и 25 мм на вертикальных стенках балластного корыта.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Итоги, рекомендации и перспективы дальнейшей разработки темы:

1. Выполнен комплекс исследований по оценке условий труда дежурных сменных помощников начальника станции, дежурных стрелочных постов и дежурных железнодорожных переездов. Установлен класс условий труда для вышеуказанных работников 3.1 - опасный. Выявлены следующие опасные факторы труда – вибрация, шум, сенсорные и эмоциональные нагрузки, монотонность нагрузок.

2. Изучен отечественный и зарубежный опыт применения оборудования и материалов для снижения вибрационного воздействия и структурного шума от рельсового транспорта. Мероприятия по снижению вибрации от железнодорожного подвижного состава в России до 2020 года не применялись. Отечественные производители виброизоляционной продукции до 2020 года отсутствовали. За рубежом накоплен большой опыт по применению виброизолирующей продукции для железнодорожного пути. На рынке присутствуют много компаний Getzner, Datwayler, Calenberg и другие, предоставляющие решения с различными техническими характеристиками.

3. Разработаны техническое задание, технические условия ТУ 222130-001-81672649-2018, конструкторская документация РЧ 2022-001 от 12.04.2022 на подбалластные маты. Разработанная продукция прошла испытания по всем заявленным характеристикам и получила допуск к применению в соответствии с ГОСТ 33477-2015.

4. Выполнены лабораторные и натурные исследования по показателям санитарно-гигиенических, токсикологических и физико-механических характеристик образцов материала матов подбалластных. По результатам исследований установлено, что индекс токсичности 18,4, санитарно-химические характеристики соответствуют требованиям СанПиН 1.2.3685-21, грибостойкость и долговечность матов подбалластных составляет не менее 20 лет, модуль упругости матов подбалластных в интервале от 0,36 до 2,2 Мпа.

5. Разработаны и утверждены опытные технологические процессы №86045957 от 27.02.2023 г. и №8731371 от 12.04.2023 г. регламентирующие процесс укладки виброизолирующей продукции при проведении ремонтов пути с щебнеочистительными машинами тяжелого типа. Утверждена Инструкция по применению матов подбалластных по ТУ 22.21.30.110-001-81672649-2018 при новом строительстве, реконструкции, капитальном и среднем ремонтах железнодорожного пути №1537/р от 21.06.2023 г.

6. Измерение, оценка и анализ результатов натуральных испытаний и моделирования распространения вибрационного воздействия, в условиях применения матов подбалластных, впервые позволили получить сведения о вибро- и шумозащитных свойствах материалов отечественного производства. Снижение вибрационного воздействия составило от 10 до 36 Дб в разных частотах. Обоснованы, разработаны и апробированы мероприятия, направленные на снижение вибродинамического воздействия от подвижного состава в зависимости от конструкции защищаемых объектов и расстояния до железнодорожных путей, включающие укладку матов подбалластных толщиной от 19 до 52 мм с модулями упругости от 0,36 до 2,2 Мпа.

7. Комплекс проведенных исследований доказал эффективность применения виброматов в качестве мер по снижению вибрационного воздействия и позволил рекомендовать использование их для снижения неблагоприятного воздействия виброакустических факторов рабочей среды дежурных сменных помощников начальника станции, дежурных стрелочных постов и дежурных железнодорожных переездов с целью обеспечения нормативно-гигиенических показателей рабочих мест в соответствии с СанПиН 1.2.3685-21.

8. Оформлен патент на полезную модель № RU 218 680 U1 от 06.06.2023 «Упругий элемент для капитального ремонта железнодорожного пути».

9. По результатам проведенных исследований рекомендуется укладка матов подбалластных при проведении капитальных и средних ремонтов пути в створе зданий с работниками ОА РЖД, расположенных на расстоянии до 40 м от действующих путей.

10. Перспективой дальнейшей разработки темы является разработка требований к материалам, позволяющим осуществлять виброгашение в источнике с разными величинами эффективности.

**СПИСОК РАБОТ, ОПУБЛИКОВАННЫХ АВТОРОМ ПО ТЕМЕ
ДИССЕРТАЦИИ:**

а) в рецензируемых научных изданиях:

1) Апатцев, В.И. Прогноз уровней вибрационного воздействия и структурного шума при реконструкции станция Лобня МЖД-1 / В.И. Апатцев, Д.А. Райлян // Наука и техника транспорта. —2022. — № 2. — С. 83-91.

2) Райлян Д.А. Расчет шумовой эмиссии от искусственного сооружения при условии снижения вибродинамического воздействия от подвижного состава / Д.А. Райлян // Наука и техника транспорта. — 2024. — №1. — С. 97-106.

б) патент на полезную модель:

3) 218 680 Российская Федерация, E01B 27/18. Упругий элемент для капитального ремонта железнодорожного пути / Н.А. Терентьев, Д.А. Райлян, Г.Р. Авдалян, А.С. Томиленко; заявитель и патентообладатель Общество с ограниченной ответственностью «Гавари Рейлвейс». - №2023108863; заявл. 07.04.2023; опубл.: 06.06.2023, Бюл. №16. – 7 с.

в) в изданиях, входящих в международную реферативную базу Scopus:

4) Mikhail Vilck, Vladimir Apattsev, Vladimir Aksenov, Dmitry Railean. Introduction of technologies, methods and methods of protection against vibration effects of rolling stock // X International Scientific Siberian Transport Forum. — 2022. — P. 1867-1871. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.06.206>

5) Oksana Sachkova, Vadim Samoilov, Dmitry Railean. Results of tests of mats perfect with analysis of risk analysis to human health // X International Scientific Siberian Transport Forum. — 2022. — P. 1853-1860. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.trpro.2022.06.204>

г) в других изданиях и материалах конференций:

6) Сачкова О.С. Анализ результатов санитарно-гигиенических исследований матов подбалластных, предназначенных для снижения вибрационного воздействия от подвижного состава / О.С. Сачкова, В.В. Самойлов, Д.А. Райлян // Проблемы безопасности российского общества. — 2021. — №4. — С. 63-66.

7) Вильк М.Ф. Прогноз уровней вибрационного воздействия и структурного шума при строительстве III пути на перегоне Хабаровск-1 – Хабаровск-2 / М.Ф. Вильк, О.С. Сачкова, Д.А. Райлян // Современные подходы к обеспечению гигиенической, санитарно-эпидемиологической

и экологической безопасности на железнодорожном транспорте. — 2022. — №V. — С. 128-145.

8) Райлян Д.А. Анализ мероприятий по снижению вибрации и шума от подвижного состава в России и за рубежом / Д.А. Райлян, О.С. Сачкова, Д.В. Климова // Проблемы безопасности российского общества. — 2022. — №3. — С. 33-39.

9) Сачкова О.С. Исследование фунгицидных свойств матов подбалластных / О.С. Сачкова, Д.А. Райлян // Современные подходы к обеспечению гигиенической, санитарно-эпидемиологической и экологической безопасности на железнодорожном транспорте. — 2023 — VI выпуск — С. 68-83.

10) Сачкова О.С. Исследования по снижению вибрационного воздействия за счет применения матов подбалластных при строительстве III и IV пути в рамках МЦД-4 на перегоне Москва-Курская – Москва Каланчевская / О.С. Сачкова, Д.А. Райлян, Д.О. Капустина, Д.В. Гречушникова // Современные подходы к обеспечению гигиенической, санитарно-эпидемиологической и экологической безопасности на железнодорожном транспорте. — 2023 — VI выпуск — С. 84-89.

11) Пименова Ю.В. Изучение вредных и опасных факторов условий труда монтеров пути / Ю.В. Пименова, Д.О. Капустина, Д.А. Райлян // Проблемы безопасности российского общества. — 2023. — №4. — С. 14-20.

12) Райлян Д.А. Разработка специализированных материалов – матов подбалластных для применения на сети железных дорог в целях снижения вибрационного воздействия и структурного шума от подвижного состава / Д.А. Райлян, В.А. Аксенов, О.С. Сачкова // Актуальные проблемы техносферной безопасности. Сборник научных материалов V национальной научно-практической конференции. — 2023 — С.32-37.

13) Райлян Д.А. Обеспечение безопасных условий труда работников железнодорожного транспорта / Д.А. Райлян, И.А. Поединцев, Е.О. Латынин // Проблемы безопасности российского общества. — 2024. — №1. — С. 12-21.

14) Засухин И.В. Применение подбалластных вибротатов на железнодорожных железобетонных пролетных строениях с ездой на балласте и сопрягаемых участках земляного полотна / И.В. Засухин, А.В. Паторняк, И.В. Чаплин, С.В. Ефимов, Д.А. Райлян // Вестник СГУПС. — 2024. — № 4 (71). — С. 92-100.

Райлян Дмитрий Анатольевич

Обеспечение безопасных условий труда работников железнодорожного транспорта за счет снижения виброакустического воздействия подвижного состава

**2.10.3. Безопасность труда
(технические науки)**

Автореферат

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Подписано в печать «__» _____ 2025 г.

Формат 60x90/16

Усл. печ. л. – 1,5

Заказ № _____

Тираж 80 экз.

127994, России, г. Москва, ул. Образцова, д.9, стр. 9