

На правах рукописи



Фролова Дарья Сергеевна

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНЫХ УСЛОВИЙ ТРУДА МАШИНИСТОВ
ВАГОНОВ-ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ ПОЕЗДОВ**

Специальность 2.10.3 – Безопасность труда

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Санкт-Петербург
2025

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова» на кафедре Е5 «Экология и производственная безопасность».

Научный
руководитель:

Крутова Вероника Александровна,
доктор технических наук, доцент, профессор кафедры Е7
«Механика деформируемого твердого тела» ФГБОУ ВО
«Балтийский государственный технический университет
«ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф. Устинова», г. Санкт-Петербург.

Официальные
оппоненты:

Литвинов Артем Евгеньевич,
доктор технических наук, доцент, профессор кафедры
«Техническая механика и специальные машины имени
профессора А.А. Петрика» ФГБОУ ВО «Кубанский
государственный технологический университет»,
г. Краснодар;

Исаев Александр Геннадьевич,
кандидат технических наук, доцент кафедры
«Робототехника и мехатроника» ФГБОУ ВО «Донской
государственный технический университет», г. Ростов-на-
Дону.

Ведущая
организация:

ФГБОУ ВО «Петербургский государственный университет
путей сообщения Императора Александра I» (ФГБОУ ВО
ПГУПС), г. Санкт-Петербург.

Защита состоится в __:00 часов __.03.2025 г. на заседании диссертационного совета 24.2.272.02 при ФГБОУ ВО «Балтийский государственный технический университет «ВОЕНМЕХ» имени Д.Ф. Устинова» (БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова) по адресу: 190005, г. Санкт-Петербург, ул. 1-я Красноармейская, д. 1, ауд. 214.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова и на сайте <https://voenmeh.ru>.

Автореферат разослан «__» января 2025 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета
д.т.н., доцент



М. В. Буторина

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы. Железнодорожная отрасль занимает лидирующее место в обеспечении больших объемов грузо- и пассажироперевозок на различные расстояния. Это объяснимо с точки зрения ее эффективности, безопасности и экономичности по сравнению с другими видами транспорта. Приоритетной задачей отрасли является обеспечение бесперебойной работы подвижного состава, которое не в последнюю очередь зависит от оперативности устранения последствий различных аварий, а порой и крушений, неизбежно сопровождающих процесс эксплуатации подвижного состава. При необходимости быстрой ликвидации последствий схода с рельсов подвижного состава применяется специально сформированный вид железнодорожной техники – восстановительный поезд, в составе которого находится различное вспомогательное оборудование: грузоподъемные краны, гидравлические домкраты, тягачи с лебедками, машины для сварки и резки металла, а также вагоны-электростанции. В функции данных вагонов входят освещение и электрообогрев восстановительного поезда, а также освещение места схода и электрооснабжение вспомогательного оборудования.

В зависимости от типа восстановительного поезда вагоны-электростанции могут иметь различную компоновку и количество автономно работающих дизель-генераторных установок (ДГУ), необходимых для питания состава. Дизель-генераторы в таких вагонах расположены вблизи рабочих мест и мест машиниста вагона-электростанции, что создает неблагоприятные условия труда в течение рабочей смены за счет воздействия различных видов опасных и вредных производственных факторов (ОВПФ). Для персонала таких поездов длительное пребывание в условиях акустического дискомфорта оборачивается развитием повышенной утомляемости, которая может привести к происшествиям чрезвычайного характера.

Проведенные экспериментальные исследования внутри вагонов-электростанций установили наличие неблагоприятных условий труда и в первую очередь значительные превышения виброакустических характеристик по сравнению с допустимыми санитарно-гигиеническими нормами. Во всех обследованных вагонах-электростанциях в составе восстановительных поездов при различном количестве ДГУ в составе и при разных режимах эксплуатации выявлена практически идентичная картина превышений шума и вибрации над предельно допустимыми значениями. Значения эквивалентных уровней звука внутри вагона-электростанции восстановительного поезда достигают величины 89 дБА, а измеренные эквивалентные скорректированные уровни виброускорения – 121 дБА, что превышает предельно допустимые значения на 9 и 6 дБА соответственно.

Следует учесть, что во время работы дизель-генераторных установок машинист вагона-электростанции должен быть сконцентрирован на выполнении своих обязанностей, а неблагоприятная виброакустическая обстановка является внешним фактором, отвлекающим внимание и снижающим качество выполняемых рабочих операций. Кроме того, во время работы дизель-генераторных установок часть персонала может находиться в зоне отдыха, поэтому такая дискомфортная обстановка также негативно влияет на качество отдыха работников.

Таким образом, обеспечение безопасных условий труда машинистов вагонов-электростанций восстановительных поездов является актуальной научно-технической и социально-экономической задачей.

В настоящее время достаточно широко изучены вопросы излучения шума железнодорожного подвижного состава в окружающую среду. Также приводятся исследования процессов шумообразования для кабин машинистов электровозов, тепловозов, мотовозов и др., конструкция которых существенно отличается от специфической компоновки вагона-электростанции восстановительного поезда. Анализ выполненных исследований процессов возбуждения вибрации на рабочих местах операторов в кабинах машинистов подвижного состава показал необходимость изучения общей вибрации, передаваемой на кресло машиниста вагона-электростанции.

Целью диссертационной работы является обеспечение безопасных условий труда на рабочих местах машинистов вагонов-электростанций восстановительных поездов за счет снижения превалирующих факторов уровней шума и вибрации.

Основные задачи исследования

Для обеспечения безопасных условий труда на рабочем месте машиниста и улучшения виброакустических характеристик внутри вагона-электростанции восстановительного поезда в работе решаются следующие задачи:

- 1.Выявить опасные и вредные производственные факторы внутри вагона-электростанции и установить класс опасности для персонала вагона.
- 2.Определить уровни звукового давления, уровни звука и уровни виброскорости на рабочих местах и местах отдыха машинистов внутри вагона-электростанции восстановительного поезда, получить требуемые значения снижения шума и вибрации.
- 3.На основе существующих санитарно-гигиенических нормативов разработать методику проведения измерений шума и вибрации внутри вагона-электростанции восстановительного поезда.
- 4.Получить аналитические зависимости, позволяющие рассчитать акустические характеристики внутри объекта исследования, оказывающие неблагоприятное воздействие на машиниста вагона-электростанции восстановительного поезда.
- 5.Разработать практические решения по улучшению виброакустических характеристик до значений санитарно-гигиенических норм.
- 6.Провести экспериментальные исследования эффективности предложенных решений по снижению шума внутри вагонов-электростанций, входящих в состав восстановительных поездов и эксплуатируемых при различных режимах работы.
- 7.Провести экспериментальные исследования эффективности предложенных решений по снижению общей вибрации на рабочих местах машинистов вагонов-электростанций.
- 8.Определить класс условий труда, установленный после применения предложенных решений по снижению шума и общей вибрации, позволяющих значительно улучшить условия труда на рабочих местах и местах отдыха внутри вагонов-электростанций восстановительных поездов.

Научная новизна работы определяется следующим:

- 1.Проанализированы параметры ОВПФ и выделены превалирующие (шум, вибрация) факторы; разработаны аналитические зависимости, позволяющие рассчитывать уровни звукового давления в рабочих зонах внутри помещений вагона-электростанции восстановительного поезда.

2. С использованием метода последовательного преобразования звуковых полей получены математические модели шумообразования в системе помещений в предположении о квазидиффузном звуковом поле в рассматриваемых помещениях.

3. Выявлены закономерности образования шума и вибрации на рабочих местах машинистов вагонов-электростанций, возникающих от дизель-генераторных установок, учитывающие внутреннюю компоновку вагона, технические характеристики внутренней и внешней конструкции кузова вагона, а также акустические характеристики источников шума.

Теоретическая и практическая значимость сформулирована следующим образом:

1. Выявлен класс условий труда и получены виброакустические характеристики на рабочих местах вагонов-электростанций, а также требуемые параметры снижения шума и вибрации.

2. Разработан метод расчета ожидаемых уровней звукового давления вагона-электростанции восстановительного поезда, в котором учтены звукопоглощающие свойства помещений, звукоизоляция (ЗИ) внутренних ограждений, а также геометрические параметры помещений.

3. Предложены инженерно-технические решения по обеспечению виброакустических характеристик, определенных требованиями санитарно-гигиенических норм, на основе сочетания звуко- и вибропоглощающих, а также звукоизолирующих элементов и ограждений.

4. Разработана конструкция виброзащитного кресла машиниста вагона-электростанции восстановительного поезда с целью уменьшения общей вибрации, возникающей при работе дизель-генераторных установок.

Объектом исследования являются рабочие места и места отдыха машинистов вагона-электростанции восстановительного поезда.

Предметом исследования является анализ ОВПФ и изучение формирования спектров шума и вибрации, возникающих внутри вагона-электростанции от доминирующего источника, которым являются дизель-генераторные установки.

Область исследований. Содержание диссертации соответствует паспорту научной специальности 2.10.3 – Безопасность труда в части пунктов:

2 – Изучение физических, химических, биологических и социально-экономических процессов, определяющих условия труда, установление взаимосвязей с вредными и опасными факторами производственной среды.

6 – Разработка научных основ, установление области рационального применения и оптимизация способов, систем и средств коллективной и индивидуальной защиты работников от воздействия вредных и опасных факторов.

10 – Совершенствование методов обеспечения безопасности при техническом обслуживании, предремонтной подготовке, ремонте и эксплуатации технических средств, оборудования и сооружений объектов. Повышение надежности оборудования объектов защиты.

Методы исследования основываются на основных положениях технической виброакустики, теории колебаний, статистических методах обработки экспериментальных данных и методах оценки вредных и опасных производственных факторов.

Положения, выносимые на защиту:

1. Результаты анализа по выявлению опасных и вредных производственных факторов, возникающих на рабочем месте машиниста вагона-электростанции вос-

становительного поезда, и установления класса опасности для указанных категорий работников.

2. Экспериментально установленные уровни звукового давления, уровни звука и уровни виброускорения на рабочих местах и местах отдыха машинистов вагона-электростанции восстановительного поезда, а также требуемые значения снижения уровней шума и вибрации.

3. Разработанные математические модели, на основе которых получены аналитические зависимости формирования спектральных характеристик шума в системе помещений вагонов-электростанций, и результаты экспериментальных исследований, доказывающие достоверность полученных зависимостей.

4. Модель расчета вибрации в стойке кресла машиниста, позволяющая учитывать его геометрические и другие параметры.

5. Описание методики измерения шума и вибрации на рабочих местах машинистов вагона-электростанции, а также результаты определения точности проведенных измерений.

6. Конструкция многослойной звукоизолирующей перегородки, обеспечивающая снижение шума на рабочих местах машинистов до нормативов, взятых штатной.

7. Конструкция виброзащитного сиденья машиниста, в котором в качестве виброизоляторов используются пружины, работающие на сжатие, а низкая собственная частота обеспечивается применением дополнительной нагрузки.

8. Алгоритм расчета ожидаемой шумности в помещениях вагона-электростанции восстановительного поезда.

9. Установленный класс условий труда после применения предложенных рекомендаций и решений.

Реализация результатов. Полученные в диссертации теоретические и практические результаты подтверждены актом внедрения ОАО «Тихорецкий машиностроительный завод им. В. В. Воровского», а также техническим актом испытания Дирекции аварийно-восстановительных средств – структурного подразделения Северо-Кавказской железной дороги – филиала ОАО «РЖД». Отдельные результаты диссертационной работы используются в ФГБОУ ВО РГУПС в образовательном процессе – в учебно-методических материалах курсов лекций, лабораторных работ и практических занятий по дисциплинам «Безопасность жизнедеятельности», «Инженерная экология», «Охрана труда», «Управление техносферной безопасностью», «Специальная оценка условий труда», «Промышленная санитария и гигиена труда» для обучающихся по направлению подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность», профиль «Управление транспортной безопасностью и охраной труда», и специальностям 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства», 23.05.03 «Подвижной состав железных дорог» и 23.05.04 «Эксплуатация железных дорог».

Достоверность разработанных решений подтверждена в ходе натурных исследований, выполненных при использовании высокоточной измерительной акустической аппаратуры по действующим методикам акустических исследований, включающим методы оценки результатов и погрешности измерений.

Апробация диссертационной работы. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук подготовлена в федеральном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Балтийский государственный

технический университет “ВОЕНМЕХ” им. Д. Ф. Устинова» на кафедре Е5 «Экология и производственная безопасность». Материалы работы прошли апробацию на научных и научно-практических конференциях, семинарах и совещаниях международного и всероссийского уровня. В их числе участие в научной конференции «Механика и трибология транспортных систем» (МехТрибоТранс-2016) (2016 г.); Всероссийской национальной научно-практической конференции «Транспорт: наука, образование, производство» (2017 г.); Всероссийской национальной научно-практической конференции «Современное развитие науки и техники» («Наука-2017»); Международной научно-практической конференции «Транспорт: наука, образование, производство» (2018 г.); Международной научно-практической конференции «Перспективы развития локомотиво-, вагоностроения и технологии обслуживания подвижного состава» (2019–2024 гг.); 6-й Международной научно-практической конференции «Механика, оборудование, материалы и технологии» (2023 г.); Всероссийской национальной научно-практической конференции «Обеспечение надежности, качества и безопасности технологических машин и оборудования» (2023 г.); Всероссийской национальной научно-практической конференции «Теория и практика безопасности жизнедеятельности» (2019–2024 гг.).

Публикации. Результаты диссертационного исследования опубликованы в научных статьях, тематических сборниках научных трудов, материалах конференций. По теме диссертационной работы опубликовано 13 научных работ, в том числе 7 из них – в рецензируемых журналах Перечня рецензируемых научных изданий, в которых должны быть опубликованы основные научные результаты диссертаций на соискание ученой степени кандидата наук (две из них в изданиях категории К-2 по научной специальности 2.10.3 – Безопасность труда (Технические науки) с одновременной индексацией в международной реферативной базе данных Scopus, квартиль Q3), и 1 статья в журнале, входящем в международную реферативную базу данных Scopus, квартиль Q4.

Личный вклад автора. В диссертационной работе и публикациях представлены научные и практические результаты, в получении которых личный вклад соискателя является преобладающим (постановка научной задачи, целей работы и их достижение, включая совместные экспериментальные исследования с последующим анализом полученных результатов).

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, 5 глав, общих выводов и рекомендаций, списка использованной литературы из 240 наименований, содержит 85 рисунков, 31 таблицы и изложена на 180 страницах машинописного текста, в том числе приложения на 13 страницах. В приложения вынесены карта специальной оценки условий труда, чертежи, сведения о внедрении.

ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении раскрыта актуальность темы диссертационного исследования, которая направлена на решение важной для машиностроения и железнодорожной отрасли научно-технической и социально-экономической задачи – обеспечения безопасных условий труда машинистов вагонов-электростанций восстановительных поездов. Приведены результаты решения задачи исследования с указанием научной новизны и практической ценности.

В первой главе дан анализ состояния проблемы, обоснованы основные направления и задачи исследования. Приведено описание вагона-электростанции восстановительного поезда с натурными фотографиями исследуемого объекта. Выполнен анализ литературных источников, посвященных изучению проблемы воздействия ОВПФ на условия труда и снижения шума, возникающего от подвижного состава, путевой и дорожно-строительной техники, мостовых кранов и другого технологического оборудования, а также возможных путей решения данной проблемы. Особо следует выделить исследования, выполненные М. В. Балановой, В. А. Гергертом, Л. Ф. Дроздовой, Н. И. Ивановым, В. А. Крутовой, А. В. Кудасовым, Д. А. Куклиным, А. С. Никифоровым, С. Ф. Подустом, Ю. В. Пронниковым, С. А. Раздорским, Н. В. Тюриной, А. Н. Чукариным, С.А. Шамшурой, А. Е. Шашуриным, А. В. Ющенко, И. А. Яицковым и др. Анализ результатов выполненных исследований показал, что вопросы излучения шума железнодорожного подвижного состава в окружающую среду от отдельных источников изучены достаточно широко. Для снижения шума, влияющего на селитебную зону, разработаны различные методики расчета и инженерные решения, которые нашли применение для защиты населения от неблагоприятного акустического воздействия. Дизель-генераторные установки, эксплуатируемые в вагонах-электростанциях (ВЭС), оказывают неблагоприятное воздействие на машинистов вагонов-электростанций, находящихся внутри ВЭС, поэтому эти практические решения мало приемлемы для решения поставленных задач.

Существующие способы снижения внутреннего шума и вибрации предназначены для кабин тепловозов и мотовозов, дорожно-строительной техники и прочего технологического оборудования, у которых компоновка кабин и их эксплуатационные показатели значительно отличаются от вагона-электростанции восстановительного поезда. Данные способы также неприемлемы для изучаемого объекта исследования ввиду того, что основным источником шума вагона-электростанции являются дизель-генераторные установки, которые имеют значительные отличия от источников шума, например, электровозов или мостовых кранов. Поэтому меры по снижению шума: малые акустические экраны, звукоизолирующие капоты и кожухи, а также глушители шума – неприменимы к объекту исследования.

Учитывая проведенный анализ существующих работ по снижению шума и вибрации подвижного состава, а также характерные особенности компоновки вагонов-электростанций, следует предположить, что наиболее эффективным решением по улучшению виброакустических характеристик внутри вагонов-электростанций является разработка комплекса инженерно-технических решений, направленных на снижение воздушной составляющей шума и воздействия общей вибрации внутри вагона-электростанции путем применения перегородок с повышенными звукоизолирующими свойствами и улучшения звукопоглощающих характеристик помещений, а также разработка кресла машиниста с виброгасящими стойками. Данные решения применимы не только для проектируемых, но и в уже эксплуатируемых вагонах-электростанциях.

Выводы по первой главе:

1. Анализ результатов существующих исследований показал, что вопросы излучения шума железнодорожного подвижного состава в окружающую среду от отдельных элементов изучены достаточно широко. Для снижения шума, влияющего на селитебную зону, разработаны различные методики расчета и инженерные решения.

Эти результаты имеют большое практическое применение вследствие их эффективности для защиты людей от неблагоприятного акустического воздействия. Дизель-генераторные установки, эксплуатируемые в вагонах-электростанциях, оказывают неблагоприятное воздействие на машинистов вагонов-электростанций, находящихся внутри, поэтому эта проблема требует практического решения.

2. Существующие способы снижения внутреннего шума разрабатывались применительно к кабинам тепловозов и мотовозов, дорожно-строительной техники и другого технологического оборудования, а также применимы к мостовым кранам, у которых компоновка кабин и их эксплуатационные показатели значительно отличаются от вагона-электростанции восстановительного поезда. Для изучаемого объекта приведенные выше исследования подлежат существенному уточнению ввиду того, что основным источником шума являются дизель-генераторные установки, которые имеют значительные отличия от источников шума мотовозов, тепловозов или мостовых кранов. Поэтому известные меры в виде применения малых акустических экранов, звукоизоляционных капотов и кожухов, а также глушителей шума неприменимы к объекту исследования.

3. Рассмотренные способы виброизоляции двигателей внутреннего сгорания тепловозов и мотовозов основаны на доказанной закономерности передачи вибрации на несущие рамы и пол кабины. Изученные способы сводятся к виброизоляции самих двигателей. Компоновка вагона-электростанции, количество дизель-генераторных установок в значительной степени отличаются от тепловозов и мотовозов, поэтому известные разработки также требуют уточнения для вагона-электростанции.

4. Учитывая проведенный анализ существующих работ по снижению шума и вибрации подвижного состава, а также характерные особенности компоновки вагонов-электростанций, следует предположить, что наиболее эффективным решением по улучшению виброакустических характеристик внутри вагонов-электростанций является разработка комплекса инженерно-технических решений, направленных на снижение воздушной составляющей шума и воздействия общей вибрации внутри вагона-электростанции путем применения перегородки с повышенными звукоизолирующими и звукопоглощающими характеристиками, а также разработка конструкции кресла машиниста с виброгасящими свойствами.

Во второй главе приведен анализ опасных и вредных производственных факторов в местах нахождения персонала вагонов-электростанций согласно схеме (рисунок 1). На рисунке также показаны превалирующие факторы: шум и вибрация.

В таблице 1 приведены фактические показатели опасных и вредных производственных факторов в вагоне-электростанции восстановительного поезда, полученные после проведения специальной оценки условий труда.

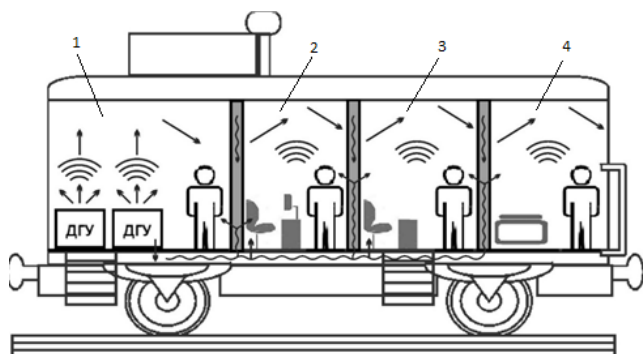


Рисунок 1 – Схема расположения рабочих мест в вагоне-электростанции:
1 – дизельное отделение; 2 – рабочее место машиниста; 3 – помещение для приема пищи; 4 – купе для отдыха

Таблица 1 – Сводная таблица фактических показателей опасных и вредных производственных факторов в вагоне- электростанции восстановительного поезда

Наименование производственного фактора	Допустимый уровень	Фактический уровень	Величина отклонения	Класс условий труда
1	2	3	4	5
Эквивалентный уровень звука, дБА	80	89	9	3.1
Эквивалентные скорректированные уровни виброускорения, дБА	115	118–121	3–6	3.1
Температура воздуха, °С (категория – ПБ)	15 до 22	18,4	-	1
Скорость движения воздуха, м/с	до 0,4	0,15	-	2
Влажность воздуха, %	15–75	47,4	-	2
Освещенность (общая рабочей поверхности), лк	150	-	-	-
Азота диоксид Класс опасности: 3 Вещество раздражающего типа, остронаправленного действия № CAS: 10102-44-0, мг/м ³	5	2,4	-	2

Продолжение таблицы 1

Углерода оксид Класс опасности: 4 Вещество остронаправ- ленного действия, опас- ное для репродуктивного здоровья человека № CAS: 630-08-0, мг/м³	2	0,5	-	2
Углеводороды алифати- ческие предельные C1- 10 (в пересчете на C) Класс опасности: 4, мг/м³	20	10	-	2
Напряженность труда	-	-	-	-
Тяжесть труда (рабочее положение)	Периодическое, до 25 % времени смены, нахожде- ние в неудобном и (или) фиксиро- ванном положение- нии. Нахождение в положении стоя до 60 % времени рабоче- го дня (смены)	Нахожде- ние в по- ложении стоя до 60 % вре- мени рабо- чего дня (смены)	-	2
Итоговый класс (под- класс) условий труда	3.1			

Анализ данных факторов, проведенный по специальной оценке условий труда, показал, что фактические значения следующих опасных и вредных факторов (температура воздуха, скорость движения воздуха, влажность воздуха и т. д.), возникающих внутри вагона-электростанции восстановительного поезда, соответствуют классу условий труда 1 и 2. Измеренные значения шума и вибрации внутри вагонов-электростанций восстановительного поезда при эксплуатации дизель-генераторных установок значительно превышают нормативные величины и соответствуют классу условий труда 3.1 (см. таблицу 1).

На рабочих местах машинистов и персонала, работающего и отдыхающего внутри вагона-электростанции, выполнялась серия экспериментальных исследований шума и вибрации. Анализ спектров шума в дизельном отделении ВЭС, представленных на рисунке 2, показывает в первых двух октавах отсутствие превышения уровней звукового давления (УЗД) над санитарными нормами. В интервале 2500–8000 Гц величина превышения составляет от 6 до 16 дБ.

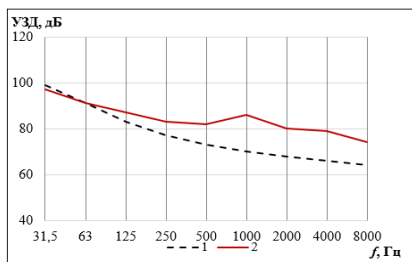


Рисунок 2 – Спектры шума
в дизельном отделении вагона-
электростанции во время стоянки
восстановительного поезда:
1 – санитарная норма;
2 – фактические уровни

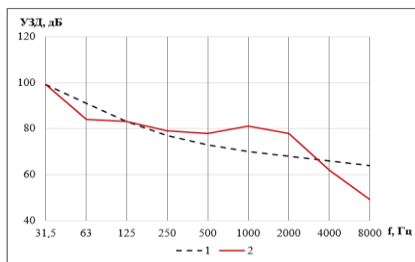


Рисунок 3 – Спектры шума на рабочем
месте машиниста вагона-электростанции
во время стоянки восстановительного
поезда:
1 – санитарная норма;
2 – фактические уровни

Как видно из рисунка 3, в кабине машиниста в первых трех октавах в диапазоне частот 31,5–125 Гц превышения уровней звукового давления отсутствуют. В интервале 250–2000 Гц (2 дБ на 250 Гц, 5 дБ на 500 Гц, 11 дБ на 1000 Гц, 10 дБ на 2000 Гц) шум превышает норму.

На рисунке 4 приведен спектр шума в помещении для приема пищи. В низкочастотном интервале превышение уровней звукового давления над предельно допустимыми значениями практически отсутствует. В диапазоне частот 125–8000 Гц превышения уровней звукового давления составляют от 3 до 9 дБ (максимальное превышение на частоте 1000 Гц).

На рисунке 5 представлены спектры шума в купе для отдыха персонала, обслуживающего вагон-электростанцию восстановительного поезда. Анализ показал, что в полосе частот 31,5–125 Гц уровни звукового давления ниже санитарных норм. В диапазоне 250–4000 Гц превышения уровней звукового давления составили от 3 до 8 дБ (максимальное превышение на частоте 1000 Гц).

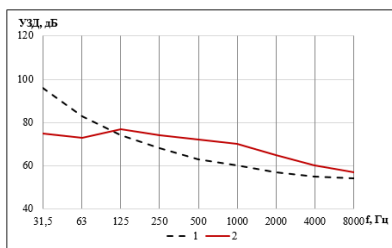


Рисунок 4 – Спектры шума
в помещении для приема пищи вагона-
электростанции во время стоянки
восстановительного поезда:
1 – санитарная норма;
2 – фактические уровни

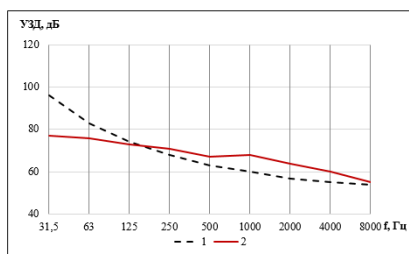


Рисунок 5 – Спектры шума
в помещении в купе для отдыха вагона-
электростанции во время стоянки
восстановительного поезда:
1 – санитарная норма;
2 – фактические уровни

На рисунке 6 приведена сравнительная гистограмма значений эквивалентных уровней звука (дБА) в каждом помещении вагона-электростанции восстановительного поезда относительно установленных санитарных норм. Первый ряд соответствует фактическим значениям, второй – санитарной норме.

Измерения показали, что при одном и том же технологическом режиме эксплуатации дизель-генераторных установок значения уровней звука постепенно снижаются от помещения к помещению, но превышение нормы сохраняется. Следует отметить, что значения установленных санитарных норм для каждого помещения индивидуальны, поэтому, несмотря на снижение значений уровней звука в помещениях, превышения над санитарными нормами сохраняются.

На рисунке 7 представлен спектр измеренных уровней виброскорости на рабочем месте машиниста вагона-электростанции. Анализ данных позволяет сделать вывод, что в интервале среднегеометрических частот 2–63 Гц значения превышений по уровню виброскорости над санитарной нормой составляют до 15 дБ.

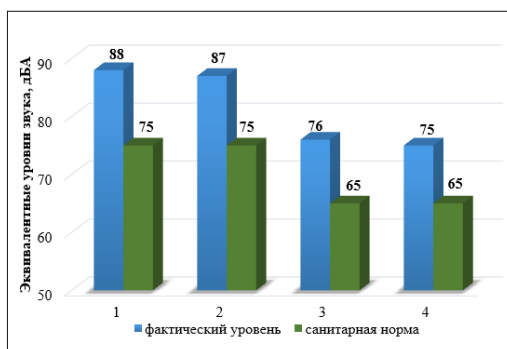


Рисунок 6 – Эквивалентные уровни звука в соответствующих помещениях вагона-электростанции во время стоянки восстановительного поезда:

1 – в дизельном отделении; 2 – на рабочем месте машиниста; 3 – в помещении для приема пищи; 4 – в купе для отдыха

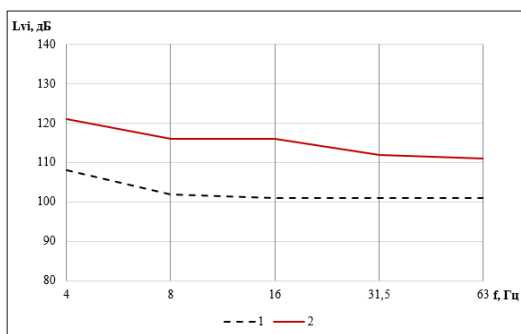


Рисунок 7 – Уровни виброскорости на рабочем месте машиниста:

1 – санитарная норма; 2 – фактические значения

На рисунке 8 представлена наглядная гистограмма, показывающая превышения эквивалентных уровней виброускорения на рабочем месте машиниста вагона-электростанции над установленной санитарной нормой (6 дБА).

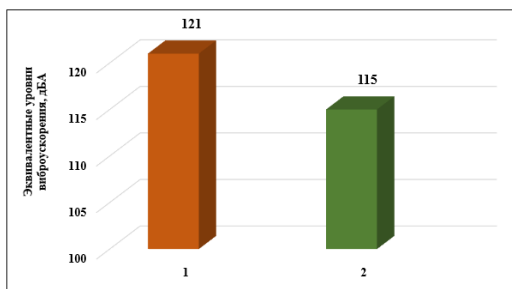


Рисунок 8 – Эквивалентные скорректированные уровни виброускорения:
1 – фактические значения; 2 – санитарная норма

В третьей главе приведены результаты теоретических исследований расчетов воздушного шума в помещениях вагона-электростанции восстановительного поезда. Дизель-генераторы, эксплуатируемые внутри вагонов-электростанций, располагаются вблизи рабочих мест и мест отдыха обслуживающего их персонала. Компоновка вагона-электростанции представляет собой несколько взаимосвязанных помещений, соединенных внутренними перегородками с дверными проемами для возможности доступа обслуживающего персонала к дизель-генераторам, пультам управления, дополнительному оборудованию. Также внутри вагона располагаются помещения для отдыха, приема пищи, рабочие места, оборудованные персональными компьютерами. Данные помещения отделены от дизель-генераторов перегородками, в результате чего внутри помещения вагона-электростанции формируется сложное звуковое поле. На рисунке 9 приведена расчетная схема, учитывающая прямой отраженный звук от ограждений в первом помещении, а также отраженный звук в прочих помещениях

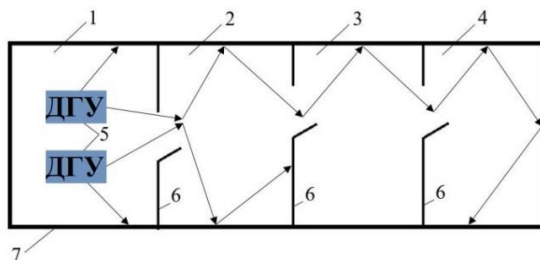


Рисунок 9 – Расчетная схема образования шума на рабочих местах и в местах отдыха машинистов, обслуживающих вагон-электростанцию:
1 – дизельное отделение (помещение 1); 2 – кабина управления (помещение 2);
3 – кухня-салон (помещение 3); 4 – отделение для отдыха (помещение 4);
5 – дизель-генераторные установки; 6 – внутренние перегородки;
7 – вагон-электростанция

При расчетах использован метод последовательного преобразования звуковых полей и приняты допущения: во всех помещениях звуковое поле рассматривается диффузным с поправкой ($\Psi_{\text{диф}}$ – коэффициент, показывающий степень приближения звукового поля к диффузному); в первом помещении рассматривается как прямой, так и отраженный звук, в остальных помещениях рассматривается отраженный звук. Получены расчетные выражения для всех помещений. В качестве примера приведено уравнение (1) для расчета уровней звукового давления в расчетной точке последнего помещения:

$$L_{\text{РТ}} = L_{W_{\text{ист}}} + 10 \lg \left[\frac{\chi_{\text{ист}}}{2\pi r^2} + \frac{4(1 - \bar{\alpha}_{\text{пом1}})}{\Psi_{\text{пом1}} A_{\text{пом1}}} \right] + 10 \lg \frac{S_{\text{пер1}}}{A_{\text{пом2}}} - \overline{3И}_{\text{пер1}} - 10 \lg \Psi_{\text{пом2}} + \\ + 10 \lg(1 - \bar{\alpha}_{\text{пом2}}) + 10 \lg \frac{S_{\text{пер2}}}{A_{\text{пом3}}} - \overline{3И}_{\text{пер2}} - 10 \lg \Psi_{\text{пом3}} + 10 \lg(1 - \bar{\alpha}_{\text{пом3}}) + \\ + 10 \lg \frac{S_{\text{пер3}}}{A_{\text{пом4}}} - \overline{3И}_{\text{пер3}} - 10 \lg \Psi_{\text{пом4}} + 10 \lg(1 - \bar{\alpha}_{\text{пом4}}) + 10 \lg(2 \cdot 4^3), \text{ дБ}, \quad (1)$$

где $L_{W_{\text{ист}}}$ – уровни акустической мощности источника, дБ;

$\chi_{\text{ист}}$ – коэффициент, учитывающий влияние ближнего поля в тех случаях, когда расстояние меньше удвоенного максимального габарита источника;

r – расстояние от источника шума до перегородки между помещениями 1 и 2, м;

$\bar{\alpha}_{\text{пом1}}, \bar{\alpha}_{\text{пом2}}, \bar{\alpha}_{\text{пом3}}, \bar{\alpha}_{\text{пом4}}$ – средний коэффициент звукопоглощения в соответствующем помещении;

$\Psi_{\text{пом1}}, \Psi_{\text{пом2}}, \Psi_{\text{пом3}}, \Psi_{\text{пом4}}$ – коэффициент, показывающий степень приближения звукового поля в соответствующем помещении к диффузному;

$A_{\text{пом1}}, A_{\text{пом2}}, A_{\text{пом3}}, A_{\text{пом4}}$ – эквивалентная площадь звукопоглощения соответствующего помещения, м²;

$S_{\text{пер1}}, S_{\text{пер2}}, S_{\text{пер3}}$ – площадь соответствующей перегородки, м²;

$\overline{3И}_{\text{пер1}}, \overline{3И}_{\text{пер2}}, \overline{3И}_{\text{пер3}}$ – значение приведенной звукоизоляции для соответствующей перегородки.

Анализ формулы (1) показал, что шум в системе помещений зависит от акустической мощности источника шума, ($L_{W_{\text{ист}}}$), акустических свойств помещений ($\bar{\alpha}_{\text{пом}}, A_{\text{пом}}$), их размеров, приведенной звукоизоляции перегородок ($\overline{3И}_{\text{пер}}$) с учетом отклонения коэффициента, показывающего отклонение реального звукового поля от идеального диффузного ($\Psi_{\text{пом}}$). Приведенные выражения применимы на этапе проектирования новых вагонов-электропоездов, а также на этапе модернизации существующих, так как позволяют оценить требуемую звукоизоляцию перегородок, чтобы привести значения уровней звукового давления на рабочих местах машинистов в соответствие нормам.

В четвертой главе приведена методика проведения экспериментальных исследований шума и вибрации согласно ГОСТ Р ИСО 9612-2013. Для измерения виброакустических характеристик использовались поверенные приборы Научно-производственного центра «Охрана труда» ФГБОУ ВО РГУПС: анализаторы спектра ОКТАВА, «Ассистент». Определены измерительные точки, учитывающие компоновку объекта исследования. При обработке результатов учитывались рабочие смены с пересчетом на стандартную рабочую неделю в 40 часов, нормативные санитарно-гигиенические характеристики условий труда на рабочих местах и местах отдыха персонала.

На рисунке 10 приведена схема измерения воздушного шума методом «прозвучивания» для определения акустической эффективности звукоизоляции перегородок.

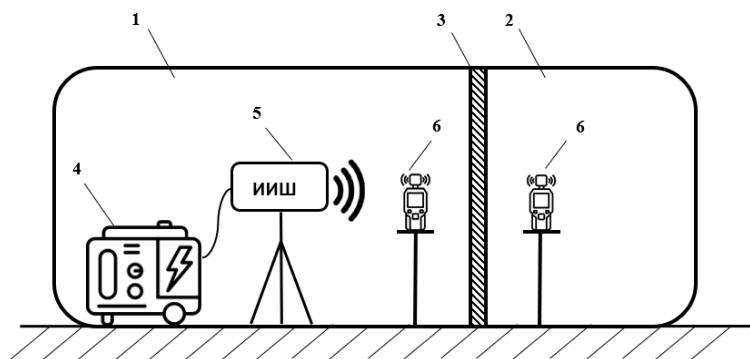


Рисунок 10 – «Прозвучивание» элементов перегородки вагона-электростанции восстановительного поезда:

- 1 – дизельное отделение; 2 – служебное помещение; 3 – внутренняя звукоизолирующая перегородка; 4 – звуковой генератор;
5 – искусственный источник шума; 6 – шумомер

Применен алгоритм обработки полученных экспериментальных данных и верифицированы результаты измерений эквивалентного общего уровня звукового давления в каждом помещении вагона-электростанции, определена расширенная неопределенность, не превышающая значения ± 2 дБ. На рисунке 11 изображен разброс уровней звукового давления и погрешность на примере отделения для отдыха.

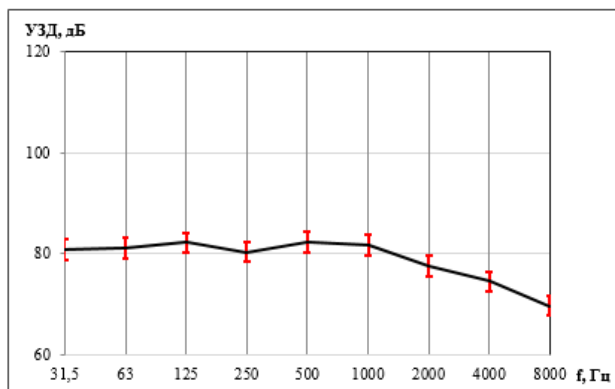


Рисунок 11 – Разброс уровней звукового давления и погрешность в отделении для отдыха

В пятой главе приведены практические рекомендации по снижению уровней шума и вибрации до санитарных норм. Звуковое поле формируется из воздушной составляющей, возникающей вследствие работы дизель-генераторных установок большой мощности. Предложена конструкция звукоизолирующей перегородки дизельного отделения внутри вагона-электростанции, представленная на рисунке 12. Перегородка выполнена многослойной конструкцией со звукоизолирующим, вибродемпфирующим и звукопоглощающим слоем. Предусмотрена акустическая герметизация перегородки.



Рисунок 12 – Устройство многослойной звукоизолирующей перегородки вагона-электростанции:

1 – стальной лист (1 мм); 2 – «вибростек – V300» (2 мм); 3 – минераловатная плита (50 мм); 4 – перфорированная дублированная винилискожа (0,5 мм)

В таблице 2 приведены результаты испытаний опытного образца звукоизолирующей перегородки. Экспериментами установлено, что ЗИ опытной перегородки составила 15–27 дБ.

Таблица 2 – Результаты испытаний опытного образца звукоизолирующей перегородки

Значения	Рассчитанные УЗД, дБ, значения параметров в октавных полосах со среднегеометрическими частотами, Гц							
	63	125	250	500	1000	2000	4000	8000
$\overline{ЗИ}_{пер}$	15	18	20	20	22	22	24	27

Выполненные измерения показали, что при использовании даже одной ЗИ-перегородки между источником и помещением шум во всех остальных помещениях ВЭС будет снижен до нормы во всем частотном диапазоне (рисунок 13).

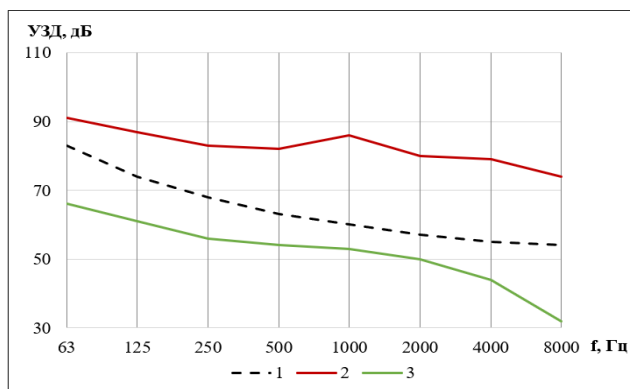


Рисунок 13 – Сравнительные спектры шума:
 1 – санитарная норма; 2 – фактический уровень шума в дизельном отделении до модернизации; 3 – спектр шума с применением опытного образца звукоизолирующей перегородки

На рисунке 14 представлен разработанный инженерный алгоритм расчета ожидаемой акустической обстановки внутри помещений вагона-электростанции, позволяющий на этапе проектирования скорректировать шумовиброзащитные мероприятия для выполнения предельно допустимых значений.

Разработано виброзащитное сиденье машиниста вагона-электростанции, содержащее модернизированную стойку с виброгасящими свойствами, которая позволяет защитить рабочее место от воздействия общей вибрации (рисунок 15).

Материалом изготовления цилиндрической пружины сжатия принимаем сталь 12Х18Н10Т. Геометрические размеры пружины принимаем по ГОСТ 18793-80 «Пружины сжатия»:

- длины ненагруженной пружины $H_0 = 140$ мм.
- диаметр прутка пружины $d = 4$ мм
- наружный диаметр пружины $D_a = 22$ мм
- внутренний диаметр пружины $D_i = 14$ мм
- полное число витков $n = 18$.

Эффективность применения модернизированной стойки кресла машиниста вагона-электростанции оценивалась по показателю виброизоляции:

$$ВИ = 20 \lg \frac{f_b}{f_c}, \text{ дБ}, \quad (2)$$

где f_b – частота вынужденных колебаний, Гц;
 f_c – частота собственных колебаний, Гц:

$$f_c = \frac{5}{\sqrt{x}} \quad (3)$$

где x – статическая осадка виброизоляторов под действием сжимающей силы, см.

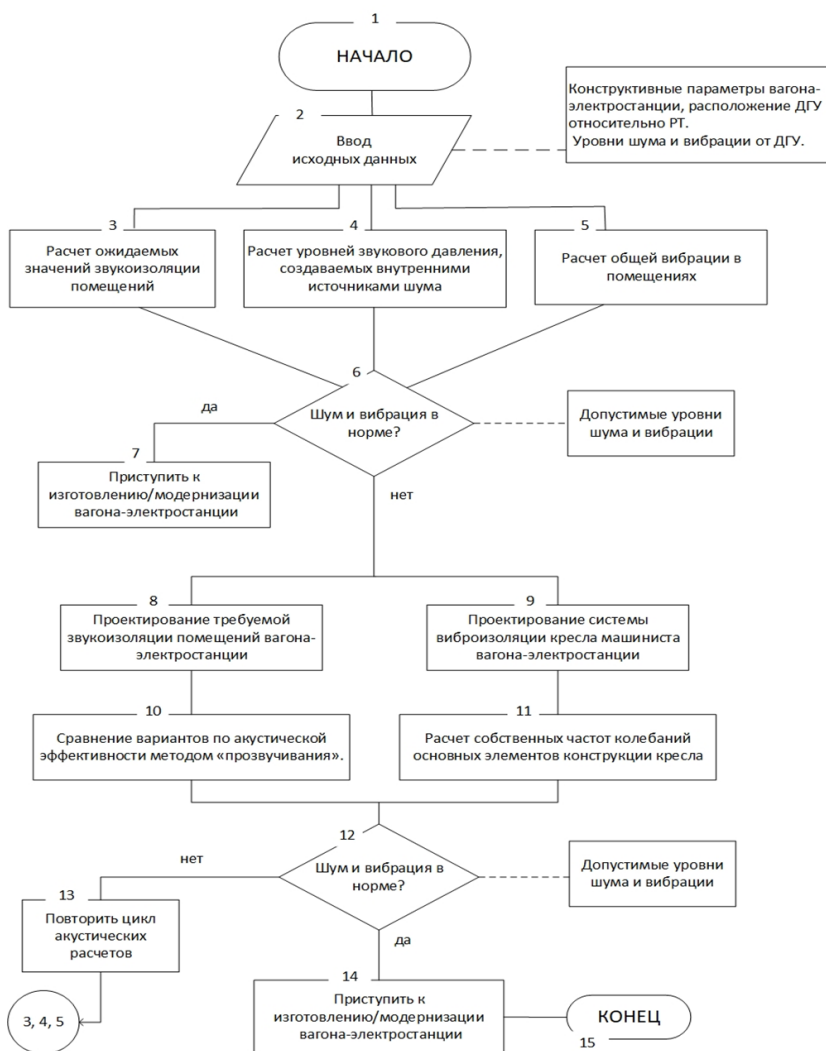


Рисунок 14 – Алгоритм расчета ожидаемой акустической обстановки в помещениях вагона-электростанции восстановительного поезда

В таблице 3 приведены результаты расчета эффективности виброизоляции сиденья машиниста вагона-электростанции для различных нагрузок: например, при $x = 4 \text{ см}$ $f_c = 2,5 \text{ Гц}$, а при $x = 1 \text{ см}$ $f_c = 5 \text{ Гц}$.

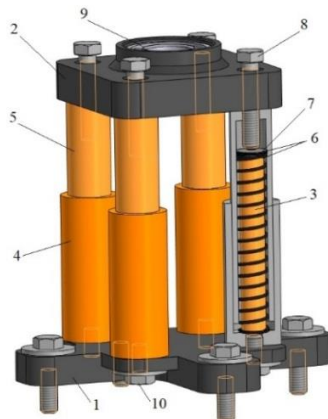


Рисунок 15 – 3D-модель стойки кресла машиниста вагона-электростанции:

- 1 – пластина основания нижняя; 2 – пластина основания верхняя;
 3 – цилиндрическая пружина с виброгасителем; 4 – стакан; 5 – труба;
 6 – тарельчатая пружина; 7 – прокладка; 8 – регулировочный болт; 9 – подшипник радиально-роликовый сферический двурядный; 10 – болт крепления

Таблица 3 – Результаты расчета эффективности виброизоляции сиденья машиниста вагона-электростанции для различных нагрузок

Величина статической осадки, см	Параметр расчета	Расчетные значения				
	f_B , Гц	4	8	16	31,5	63
при $x_1 = 1$	f_c , Гц	5	5	5	5	5
	$ВИ = 20 \lg \frac{f_B}{f_c}$	-2	4	10	16	22
при $x_2 = 2$	f_c	3,6	3,6	3,6	3,6	3,6
	$ВИ = 20 \lg \frac{f_B}{f_c}$	1	7	13	19	25
при $x_3 = 3$	f_c	3	3	3	3	3
	$ВИ = 20 \lg \frac{f_B}{f_c}$	2,3	8,3	14,5	20,5	26,5
при $x_4 = 4$	f_c	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
	$ВИ = 20 \lg \frac{f_B}{f_c}$	4	10	16	22	28
при $x_5 = 5$	f_c	2,3	2,3	2,3	2,3	2,3
	$ВИ = 20 \lg \frac{f_B}{f_c}$	5	11	17	23	29

Таким образом, эффективность виброизоляции напрямую зависит от частоты собственных колебаний, т. е. от статической осадки под действием массы.

Анализ выполненных расчетов показывает, что предложенные меры по снижению общей вибрации на рабочем месте машиниста позволяют уменьшить вредное воздействие до предельно допустимых значений.

После применения мероприятий по снижению шума и вибрации итоговый класс условий труда снижен до 2, т. е. все опасные и вредные производственные факторы сведены к норме.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ И РЕКОМЕНДАЦИИ

Результаты диссертации представлены следующими основными выводами:

1. Проведена специальная оценка условий труда на рабочих местах машинистов вагонов-электростанций восстановительных поездов, по результатам которой условиям их труда присвоен класс 3.1. Основными негативными факторами, влияющими на указанные категории работников, являются повышенные уровни шума и вибрации, значительно превышающие санитарные нормы.

2. Проведено исследование акустических характеристик внутри вагона-электростанции, выявлены основные источники (ДГУ), создающие внутри вагона-электростанции неблагоприятные условия труда. Определены фактические значения превышений эквивалентных уровней звука над предельно допустимыми величинами в помещениях вагона-электростанции восстановительного поезда с учетом отдельно установленных санитарных норм для каждого помещения: в дизель-генераторном отделении – 13 дБА, на рабочем месте машиниста вагона-электростанции – 12 дБА, в помещении для приема пищи – 11 дБА, в купе для отдыха и сна – 10 дБА. Установлены значения превышения фактических эквивалентных скорректированных уровней виброускорения на рабочем месте машиниста вагона-электростанции – до 6 дБА.

3. На основании предложенной расчетной схемы разработаны математические модели и методика расчета ожидаемых уровней шума в рабочих зонах внутри помещений вагона-электростанции восстановительного поезда, позволяющие определить теоретически требуемую величину звукоизоляции внутренних перегородок для снижения шума до нормы. Основное допущение о квазидиффузности звукового поля во всех помещениях (поправка $\Psi_{\text{диф}}$); шум в расчетной точке зависит от:

- уровней акустической мощности ДГУ, дБ;
- составляющих прямого и отраженного звука в дизельном отделении, площади и приведенной звукоизоляции перегородок, дБ;
- акустических свойств помещений, определяемых средним коэффициентом звукопоглощения ($\bar{\alpha}_{\text{пом}}$) и эквивалентной площадью звукопоглощения помещения ($A_{\text{пом1}}$), м².

Сравнение результатов расчета и эксперимента показало, что отклонение уровней звукового давления находится в диапазоне ± 3 дБ.

4. Предложена модель для расчета вибрации в стойке кресла машиниста вагона-электростанции, учитывающая геометрические параметры стойки кресла и особенности закрепления; получены аналитические зависимости, позволяющие производить расчет собственных частот колебаний конструкции кресла.

5. Разработана методика измерений шума и вибрации в помещениях вагона-электростанции, выполнена верификация результатов измерений с определением расширенной неопределенности, которая составляет ± 2 дБ.

6. Предложено инженерно-техническое решение, позволяющее выполнить санитарные нормы в части снижения воздушного шума от дизель-генераторных установок применением многослойной звукоизолирующей перегородки из фанерного каркаса на стальной основе (звукоизоляция) и слоев материалов с звукопо-

глощающими и вибродемпфирующими свойствами. Испытания опытного образца опытной перегородки показали, что ЗИ составляет 15–27 дБ.

7. Предложен алгоритм расчета ожидаемой акустической обстановки в помещениях вагона-электростанции, который позволяет при проектировании вагона-электростанции скорректировать шумовиброзащитные мероприятия для обеспечения установленных санитарных норм.

8. Предложена конструкция виброизолирующего кресла на рабочем месте машиниста, где основным виброизолирующим элементом являются четыре металлических пружины, работающие на сжатие, а дополнительная виброизоляция обеспечивается специальными регулируемыми элементами. Расчеты показали, что модернизированное сиденье обеспечивает снижение общей вибрации до нормы.

9. Предложенные рекомендации и решения позволили снизить шум и вибрацию до санитарных норм во всем нормируемом диапазоне частот и установить итоговый класс условий труда – 2.

Результаты диссертационной работы прошли испытания и были успешно внедрены в производство, что подтверждено техническим актом внедрения ОАО «Тихорецкий машиностроительный завод им. В. В. Воровского», а также техническим актом испытания Дирекции аварийно-восстановительных средств – структурного подразделения Северо-Кавказской железной дороги – филиала ОАО «РЖД». Отдельные результаты диссертационной работы используются в ФГБОУ ВО РГУПС в образовательном процессе – в учебно-методических материалах курсов лекций, лабораторных работ и практических занятий по дисциплинам «Безопасность жизнедеятельности», «Инженерная экология», «Охрана труда», «Управление техносферной безопасностью», «Специальная оценка условий труда», «Промышленная санитария и гигиена труда» для обучающихся по направлению подготовки 20.03.01 «Техносферная безопасность», профиль «Управление транспортной безопасностью и охраной труда», и специальностям 23.05.01 «Наземные транспортно-технологические средства», 23.05.03 «Подвижной состав железных дорог» и 23.05.04 «Эксплуатация железных дорог».

Основное содержание диссертации отражено в ряде публикаций в научных периодических изданиях:

Статьи в журналах, входящих в Перечень ведущих научных журналов и изданий ВАК:

1. Фролова, Д. С. Теоретические зависимости воздушной составляющей шума вагонов-электростанций / Д. С. Фролова // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2022. – № 4 (88). – С. 227–232. – DOI 10.46973/0201-727X_2022_4_227. – EDN WNXLED.

2. Фролова, Д. С. Экспериментальные исследования шума дизель-генераторов, эксплуатируемых в вагонах-электростанциях различного подвижного состава / Д. С. Фролова // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. – 2023. – № 3. – С. 535–539. – DOI 10.24412/2071-6168-2023-3-535-539. – EDN ZPOGJY.

3. Фролова, Д. С. Анализ результатов экспериментальных измерений вибрации и внутреннего шума вагона-электростанции восстановительного поезда, возникающих при работе дизель-генераторных установок / Д. С. Фролова // Безопасность труда в промышленности. – 2024. – № 2. – С. 34–41. – DOI 10.24000/0409-2961-2024-2-34-41. – EDN EFYUIF.

4. Фролова, Д. С. Практические рекомендации по снижению шума на рабочем месте машиниста вагона-электростанции восстановительного поезда / В. А. Крутова, Д. С. Фролова // Безопасность труда в промышленности. – 2024. – № 5. – С. 43–47. – DOI 10.24000/0409-2961-2024-5-43-47. – EDN AASVIO.

5. Фролова, Д. С. Методика расчета ожидаемых уровней шума в помещениях вагона-электростанции восстановительного поезда / В. А. Крутова, Д. С. Фролова // Noise Theory and Practice (Шум. Теория и практика). – 2024. – Т. 10, № 2 (37). – С. 44–52. – EDN VKPIEG.

6. Фролова, Д. С. К расчету прохождения звука через систему помещений различного специального железнодорожного транспорта / А. Е. Шашурин, В. А. Крутова, В. К. Васильева, Д. С. Фролова // Noise Theory and Practice (Шум. Теория и практика). – 2024. – Т. 10, № 4. – С. 9–17. – eISSN 2412-8627.

7. Фролова, Д. С. Разработка практических мероприятий по снижению общей вибрации на рабочем месте машиниста вагона-электростанции восстановительного поезда / В. А. Крутова, Д. С. Фролова, Ю.И. Элькин // Noise Theory and Practice (Шум. Теория и практика). – 2024. – Т. 10, № 4. – С. 18–27. – eISSN 2412-8627.

Доклады и тезисы докладов на конференциях:

8. Фролова, Д. С. Оценка контактных явлений в системе «колесо – рельс» / В. А. Бондаренко, Д. С. Фролова // Современное развитие науки и техники (Наука-2017) : сборник трудов Всероссийской национальной научно-практической конференции. Т. 2. – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2017. – С. 58–61. – ISBN 978-5-88814-543-2.

9. Фролова, Д. С. Расчет напряжений в системе «колесо – рельс» подвижного состава / Д. С. Фролова, В. А. Бондаренко // Современное развитие науки и техники (Наука-2017) : сборник трудов Всероссийской национальной научно-практической конференции. Т. 2. – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2017. – С. 62–66. – EDN YNYFFZ .

Другие издания:

10. Фролова, Д. С. Теоретическая оценка акустических характеристик в вагоне-электростанции восстановительного поезда / Д. С. Фролова, В. А. Крутова // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2022. – № 4 (61). – С. 113–118. – EDN MGZENO.

11. Фролова, Д. С. Выбор материалов для снижения структурного шума вагона-электростанции восстановительного поезда / В. А. Крутова, Д. С. Фролова // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2023. – № 3 (64). – С. 71–75. – EDN ASPUKN.

12. Фролова, Д. С. Методика проведения экспериментальных исследований шума и вибрации вагонов-электростанций / Д. С. Фролова // Обеспечение надежности, качества и безопасности технологических машин и оборудования : сборник трудов Всероссийской национальной научно-практической конференции, Ростов-на-Дону, 10 марта 2023 года. – Ростов-на-Дону : РГУПС, 2023. – С. 99–105. – EDN NKKGMK.

Статьи в изданиях, индексируемых в международных базах Scopus и Web of Science:

13. Frolova, D. S. Conclusion of Dependences Specifying the Formation of Acoustic Characteristics of the Movement of Rolling Stock in a Residential Area Krutova / V. A. Krutova, D. S. Frolova // In : Radionov A. A., Gasiyarov V. R. (eds). Proceedings of the 10th International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2024. Lecture Notes in Mechanical Engineering. – Springer, Cham. 2024. – DOI 10.1007/978-3-031-65870-9_59.

Фролова Дарья Сергеевна

**ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНЫХ УСЛОВИЙ
ТРУДА МАШИНИСТОВ ВАГОНОВ-
ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ ВОССТАНОВИТЕЛЬНЫХ
ПОЕЗДОВ**

В печать 14.01.2025. Формат 60×84/16.
Тираж 100 экз. Заказ № 7.

Издательство Балтийского государственного технического университета
«ВОЕНМЕХ» им. Д. Ф. Устинова. 190005, г. Санкт-Петербург,
1-я Красноармейская ул., д. 1.