

На правах рукописи



ШИНКАРУК Андрей Сергеевич

**ПОВЫШЕНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА
ПАССАЖИРСКОГО ВАГОНА НА ОСНОВЕ УВЕЛИЧЕНИЯ
ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЕГО ХРЕБТОВОЙ БАЛКИ**

Специальность 2.9.3. Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация.

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук

Москва 2022

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

Научный руководитель

доктор технических наук, профессор,
заведующий кафедрой «Технологии
транспортного машиностроения и
ремонта подвижного состава»
Куликов Михаил Юрьевич

Официальные оппоненты

Кононов Дмитрий Павлович,
доктор технических наук, доцент,
профессор кафедры «Наземные
транспортно-технологические
комплексы» Петербургского
государственного университета путей
сообщения Императора Александра I
(ПГУПС)

Антипин Дмитрий Яковлевич,
кандидат технических наук, доцент,
директор Учебно-научного института
транспорта Брянского
государственного технического
университета

Ведущее предприятие

закрытое акционерное общество
Научная организация «Тверской
институт вагоностроения»

Защита состоится «22» сентября 2022 года в «13» час «00»
мин на заседании диссертационного совета 40.2.002.07 на базе федерального
автономного образовательного учреждения высшего образования
«Российский университет транспорта» по адресу: 127994, г. Москва,
ул. Образцова д. 9, стр. 9, ауд. 2505

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

Автореферат разослан «___» _____ 2022 г.

Учёный секретарь
диссертационного совета



Н.Н. Воронин

Актуальность темы исследования. Решением Правительства Российской Федерации в 2008 году в рамках реализации Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 г. поставлена задача формирования доступной и устойчивой транспортной системы как инфраструктурного базиса для обеспечения транспортной целостности, безопасности и обороноспособности страны, обеспечения условий для реализации потребностей граждан в перевозках, а также выполнения воинских и специальных железнодорожных перевозок.

В соответствии со стратегией холдинга ОАО «РЖД» запланирована оптимизация маршрутной сети и расписания поездов, повышения скоростей, роста грузоперевозок и пассажиропотока. Требования обеспечения безопасности при эксплуатации пассажирского подвижного состава определяются в приоритетном порядке за счёт обеспечения надёжности и прочности несущих элементов вагона. Несмотря на постоянное совершенствование методов ремонта как узлов и деталей, так и пассажирских вагонов в целом, при расчёте на прочность элементов вагонов существуют зоны, которые всё еще трудно поддаются оценке, в том числе из-за наличия технологического фактора. Таким образом, экспериментальная оценка подвижного состава остаётся единственным и довольно затратным методом, устанавливающим соответствие конструкции вагона нормативным требованиям безопасности.

В целях обеспечения и реализации задач стратегии в настоящее время используются более 18,5 тысяч пассажирских вагонов для перевозки пассажиров в дальнем сообщении, однако фактический спрос на пассажирский подвижной состав, особенно в период летних и каникулярных перевозок, только повышается. Несмотря на то, что в последние 5 лет приобретение подвижного состава в целом растёт, за последнее десятилетие темп пополнения парка пассажирских вагонов снижен более чем на 35 %, и обеспечить потребность в перевозках на пиковые периоды в полном объёме не представляется возможным.

Кроме проблем, возникающих с компенсацией выбывающего по сроку службы подвижного состава, перед собственниками возникают вопросы об оптимальности проведения планового-предупредительного ремонта и перевода вагона на этот период в нерабочий парк. Так, при направлении вагона в плановый ремонт физический износ в зависимости от полигонов курсирования и интенсивности эксплуатации неодинаков, что приводит к постановке на ремонтные позиции вагонов с различной степенью износа – от минимального до сверхнормативного. Следовательно, в зависимости от фактического объёма ремонта расходы на восстановление ресурса, а также простоя непосредственно в ремонте будут различными.

Таким образом, теоретические и экспериментальные исследования, направленные на повышение продолжительности жизненного цикла пассажирского вагона на основе увеличения долговечности его хребтовой балки, являются актуальными.

Степень разработанности темы исследования. Вопросами оценки остаточного срока службы грузовых и пассажирских вагонов с учётом их технического состояния, оценки усталостной прочности и долговечности несущих конструкций вагонов занимались Д.Я. Антипин, С.Н. Ашуркова, А.А. Иванов, В.А. Карпычев, В.В. Кобищанов, С.Д. Коршунов, В.А. Лебедев, Е.Н. Никольский, М.Н. Овечников, Д.Ю. Расин, П.А. Устич С.Г. Шорохов и другие.

Вопросы защиты металлических элементов от воздействия коррозии путем нанесения лакокрасочного покрытия, снижения темпов коррозионного воздействия на структуру металла, образования коррозионных язв путем установления и применения лакокрасочного и антикоррозионного покрытия отражены в работах ученых В.М. Ермакова, В.Г. Калыгина, М.А. Шлугера, А.Д. Яковлева и других.

Изученный автором опыт позволил реализовать способ защиты хребтовой балки от воздействия внешних факторов и коррозионного влияния на хребтовую балку пассажирского вагона.

Целью исследования является увеличение продолжительности жизненного цикла пассажирского вагона, в конструкцию рамы которого входит хребтовая балка, за счёт увеличения её долговечности.

Задачи исследования:

1 проанализировать структуру парка пассажирских вагонов, используемых в перевозочной деятельности на территории Российской Федерации и сопредельных государств;

2 провести оценку состояния элементов хребтовых балок, прошедших полный цикл эксплуатации, на соответствие прочностным характеристикам;

3 определить участки хребтовой балки, подверженные наибольшему коррозионному воздействию в процессе эксплуатации;

4 выявить причины локальных коррозионных воздействий и микроразрушений на хребтовую балку в процессе эксплуатации;

5 разработать технологию, позволяющую увеличить долговечность хребтовой балки с её адаптацией в систему планово-предупредительных ремонтов пассажирского вагона.

Объектом исследования являются пассажирские вагоны моделей 61-828, 61-425 и 61-4186.

Предметом исследования являются хребтовые балки пассажирских вагонов моделей 61-828 и 61-425.

Методология и методы исследования. В теоретической части рассмотрения проблемы использованы фундаментные положения науки в части оценки остаточного ресурса подвижного состава, работы металлических элементов конструкций вагона под напряжением и воздействием внешней среды, изучено воздействие лакокрасочного покрытия на долговечность элементов конструкции рамы вагона, произведены расчёты

напряжений конструкции рамы пассажирского вагона с использованием программного комплекса «SCAD office» методом конечных элементов при нормативных и минимально допустимых толщин элементов рамы вагона, в конструкцию которой входит хребтовая балка. В практической части проведены исследования элементов вновь изготовленной хребтовой балки и хребтовых балок вагонов моделей 61-828 и 61-425, выработавших нормативных срок службы, на наличие в них остаточных напряжений в зависимости от глубины травления металла, проведено металлографическое исследование элементов хребтовых балок, исследованы процессы, возникающие в структуре металла из-за некачественного снятия ранее нанесённого лакокрасочного покрытия и влияние на локальных участках хребтовой балки многослойного покрытия, рассмотрено состояние качества очистки и подготовки под покраску хребтовой балки по результатам дробеструйной обработки, а также развитие коррозии на поверхности металла необработанного и после проведения дробеструйной обработки, произведен расчёт циклической долговечности рамы пассажирского вагона, выработавшего предельный нормативный срок службы, проведена экспериментальная очистка хребтовой балки дробеструйным и механическим способами с последующим нанесением лакокрасочных материалов на хребтовую балку вагона модели 61-4186.

Положения, выносимые на защиту

1 предложения по снятию остаточных напряжений в хребтовой балке, возникающих при приварке концевых, промежуточных и шкворневых балок;

2 предложения по применению лакокрасочного покрытия с улучшенными защитными свойствами от коррозионного и воздействия внешних факторов;

3 предложения по оценке влияния дробеструйной обработки поверхностного слоя хребтовой балки на развитие коррозии.

Научная новизна работы заключается в следующем:

1 доказано, что металл основного объема хребтовой балки после достижения предельного срока службы (40 лет) отвечает всем техническим и прочностным требованиям в соответствии с ЛВ1.0031 РК. Вагоны пассажирские. Руководство по капитальному ремонту (КР-1);

2 определена топография локальных участков хребтовой балки, подверженных в процессе эксплуатации усиленной коррозии, вследствие которой происходит утонение сечения ниже требуемой предельной величины;

3 выявлены причины наибольшей интенсивности коррозии на локальных участках хребтовой балки, которые обусловлены наличием значительного разброса остаточных напряжений в её поверхностных слоях, образующихся в процессе изготовления вагона;

4 разработана технология, устраняющая негативное формирование остаточных напряжений в поверхностных слоях хребтовой балки и тем самым увеличивающая её коррозионную стойкость.

Теоретическая и практическая значимость работы

1 основной объём хребтовой балки после нормативного срока эксплуатации (40 лет) отвечает всем требованиям нормативной документации;

2 на основании экспериментальных исследований установлено, что наиболее подверженными коррозионным воздействиям в хребтовой балке являются места сварных соединений со шкворневыми балками;

3 рассчитанное напряжённно-деформированное состояние пассажирского вагона при нормативной толщине сечений металлоконструкций соответствует нормативным параметрам, а напряжённно-деформированное состояние с заложенными в конструкцию минимально допустимыми сечениями превышает допустимые параметры в элементах хребтовой балки;

4 разработана технология нанесения лакокрасочного покрытия на хребтовую балку и экипажную часть вагона. Предложено лакокрасочное покрытие с улучшенными защитными от внешнего и коррозионного воздействия свойствами;

5 полученная в результате работы программная модель исследования хребтовой балки целесообразна для распространения на другие основные элементы экипажной части вагона (детали рамы и кузова вагона). Применение данной модели на других элементах подвагонного оборудования позволит обеспечить снижение коррозионного воздействия на экипажную конструкцию подвижного состава в целом, а также увеличит выявляемость зарождающихся дефектов при проведении планового ремонта;

6 применение технологии дробеструйной обработки с последующей окраской хребтовой балки способствует повышению безопасности пассажирского вагона, прошедшего планово-предупредительный ремонт в части повышения коррозионной стойкости несущих элементов конструкции вагона.

Реализация достигнутых результатов. Отдельные разделы экспериментальных и теоретических исследований использованы в научных отчетах и протоколах испытаний пассажирских вагонных депо Орехово-Зуево, Москва-3, ЗАО НО «ТИВ», в научно-исследовательских работах ОАО «ТВЗ».

Достоверность научных положений и выводов основываются на сопоставлении теоретических результатов с экспериментальными, методологически обоснованными исследованиями, проведенными с применением поверенного и аттестованного в установленном порядке испытательного оборудования и приборов, использованием современных средств регистрации контролируемых параметров.

Апробация работы. Основные результаты работы докладывались и обсуждались на научно-технических конференциях в Брянском государственном техническом университете, на VI Международной научно-

практической конференции «Менеджмент качества, транспортная информационная безопасность, информационные технологии», Ярославль 6–10 сентября 2021 г.

Публикации. Основные положения диссертации опубликованы в 5-и печатных работах, из них в рецензируемых научных изданиях 3 работы и 1 работа в издании, входящем в международную базу цитирования Scopus.

Личный вклад соискателя

1 рассчитаны возникающие остаточные напряжения в конструкции вагона методом конечных элементов с использованием программного комплекса «SCAD office» при минимально допустимых толщинах сборочных единиц несущих элементов вагона;

2 проведены исследования элементов вновь изготовленной хребтовой балки и хребтовых балок вагонов моделей 61-828 и 61-425, выработавших нормативных срок службы, на наличие в них остаточных напряжений в зависимости от глубины травления металла;

3 проведено металлографическое исследование элементов хребтовых балок вагонов моделей 62-828 и 61-425, выработавших нормативный срок службы;

4 исследованы процессы, возникающие в структуре металла из-за некачественного снятия ранее нанесенного лакокрасочного покрытия, и влияние на локальных участках хребтовой балки многослойного лакокрасочного покрытия;

5 рассмотрено состояние, качество очистки и подготовки под покраску хребтовой балки после дробеструйной и механической обработок;

6 исследовано развитие коррозии на поверхности металла без и после проведения дробеструйной обработки поверхностного слоя;

7 по рекомендациям проведена экспериментальная очистка хребтовой балки дробеструйным и механическим способами с последующим нанесением лакокрасочных материалов на участки хребтовой балки пассажирского вагона модели 61-4186.

Структура и объём работы. Работа состоит из введения, четырех разделов, заключения и выводов.

Объем работы составляет 187 листов. Список литературы включает 149 источников. Работа иллюстрирована 79 рисунками, 35 таблицами, приложением.

КРАТКОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении дана общая характеристика работы с обоснованием актуальности темы исследования, указаны научная новизна, практическая ценность, реализация результатов работы на предприятиях вагоноремонтного комплекса, апробация и публикации по работе, личный вклад соискателя.

В первом разделе кратко изложены состояние вопроса и постановка задачи. Так, в России вопросами исследования и научными разработками по оценке состояния, коррозионного износа хребтовой балки,

совершенствования содержания конструкции, улучшения динамических, прочностных и долговечных характеристик хребтовой балки и рамы вагонов занимались и занимаются различные организации и научные коллективы, такие как: РУТ (МИИТ), ВНИИЖТ, ПКБТ Л ОАО «РЖД» и ряд других институтов, университетов, научно-производственных объединений. Капитальные ремонты в объемах КР-1 осуществляются во всех пассажирских вагоноремонтных предприятиях, расположенных на территории Российской Федерации, кроме того, наряду с проведением ремонтов в объеме КР-1 в пассажирских вагонных депо Орехово-Зуево, Великие Луки, а также на вагоноремонтных заводах Тамбова, Воронежа осуществляется ремонт вагонов в объемах КР-2 и КВР. Вопросами оценки напряженно-деформированного состояния кузова вагона на этапе проектирования занимались А.П. Азовский, В.Н. Котуранов, М.Н. Овечников, В.Н. Филиппов.

Вопросами надежности, оценки усталостной прочности и долговечности несущих конструкций вагонов занимались А.А. Иванов, В.А. Карпычев, М.Н. Овечников, П.А. Устич.

Основами проектирования и совершенствования конструкций пассажирского вагоностроения занимались ученые ЗАО НО «ТИВ»: В.П. Богданов, В.В. Василевский, Д.И. Гончаров, А.С. Жуков, С.Л. Самошкин, А.Н. Скачков, А.А. Юхневский и другие.

В БГТУ Д.Я. Антипин, С.Н. Ашуркова, В.В. Кобищанов, С.Д. Коршунов, В.А. Лебедев, Е.Н. Никольский, Д.Ю. Расин, С.Г. Шорохов и другие занимались разработкой расчётных конечных элементных моделей кузовов пассажирских вагонов, оценкой их несущей способности и прочности конструкции.

Вопросами оценки остаточного срока службы грузовых и пассажирских вагонов с учетом их технического состояния занимались Ю.П. Бороненко, Е.А. Жарова, М.Б. Кельрих, А.Д. Кочнов, В.Ф. Лапшин, П.А. Устич, В.Н. Цюренко подобными вопросами применительно к вагонам метрополитена занимались С.В. Борисов, А.М. Краснобаев, А.В. Третьяков. Помимо этого, оценке долговечности несущих элементов кузовов трамвайных вагонов посвящены работы Н.С. Бачурина, Н.Л. Иванова, К.М. Колясова.

Также стоит отметить вклад ученых из Украины по оценке остаточного ресурса тягового и специального подвижного состава: В.Г. Анофриева, Е.П. Блохина, А.М. Бондарева, В.Л. Горобца, В.А. Калашника, В.П. Кулешова, А.Г. Рейдемейстера.

Вопросы защиты металлических элементов от воздействия коррозии путём нанесения лакокрасочного покрытия, снижения темпов коррозионного воздействия на структуру металла, образования коррозионных язв путем установления и применения лакокрасочного и антикоррозионного покрытия отражены в работах ученых Р.Г. Гаджиевой, Л.Н. Земсковой, В.В. Северного, В.В. Чеботаревского и многих других.

Учеными-коррозионистами ВНИИЖТа, БГТУ и РУТ заложены основные принципы экспериментального подхода к разработке конструкционных материалов и средств защиты от коррозии железнодорожного транспорта.

Использование материалов с максимальными защитными свойствами всегда будет оправдано технологически, однако не всегда экономически, поэтому процесс защиты металла от коррозионного воздействия необходимо рассматривать комплексно, а именно учитывать влияние процесса окраски на экологию.

Вопрос снижения влияния на окружающую среду при ремонте и изготовлении подвижного состава напрямую связан с повышением затрат. Любой ремонт вагона с полным или частичным снятием защитного лакокрасочного покрытия проводится либо механическим способом, либо с использованием специальных жидкостей для снятия ранее нанесенного лакокрасочного покрытия.

Проблемами влияния изготовления, применения и утилизации лакокрасочной продукции на окружающую среду занимались ученые В.Г. Калыгин, А.Д. Яковлев.

Впервые вопросы возможности и целесообразности продления срока службы вагонов с целью поддержания рабочего парка и сохранения его ресурса рассматривались в работах Ю.П. Бороненко, М.Б. Кельриха, А.Д. Кочнова, А.В. Третьякова, В.Н. Цюренко.

Проведённый анализ результатов работ на данную тематику в вопросе ресурса, прочности пассажирского подвижного состава позволяет сделать вывод о том, что в основном авторы склоняются к необходимости контролировать ресурсы индивидуальных элементов вагонов и приоритетной задачей является оценка прочности и остаточных ресурсов его несущих конструкций. Однако в большей мере это касается рассмотрения подвижного состава грузового типа.

Вопросам исследования оценки повышения продолжительности жизненного цикла пассажирских вагонов на основе увеличения долговечности его основных элементов (в том числе хребтовой балки) в опубликованной к настоящему времени научно-технической литературы уделено мало внимания.

Таким образом, работа по совершенствованию методов увеличения долговечности хребтовой балки пассажирского вагона является актуальной и имеет практическую значимость.

Во втором разделе дана общая структура изменения парка пассажирских вагонов по моделям и типам конструкции рамы кузова. Так, по состоянию на 31 декабря 2010 г. парк вагонов, курсирующих в пассажирском сообщении, состоял из 29 113 единиц, при этом 75 % (21 429 единиц) составляли вагоны, в конструкцию рамы которых входит хребтовая балка. По состоянию на 31 декабря 2020 г. парк вагонов снизился на 36 % (18 438

единиц), однако доля пассажирских вагонов, в конструкцию рам которых входит хребтовая балка, увеличился с 74 до 86 %.

При анализе нормативно-технологической документации по техническому и планового-предупредительному ремонту хребтовой балки установлено, что основные операции по проведению ремонта, критериям браковки, технологии ремонта изложены в Инструкции по сварке и наплавке узлов и деталей при ремонте пассажирских вагонов ЦЛ-201 2019, в которой определены параметры исключения из инвентаря вагонов с уменьшением остаточной толщины сечения хребтовой балки не более 18–20 % (в зависимости от номинальной толщины сечения металла), однако требования по подготовке поверхности экипажной части с последующей их окраской (хребтовая, промежуточные, шкворневые и концевые балки) изложены поверхностно.

Кроме того, система периодичности окрашивания пассажирских вагонов отличается от периодичности проведения планового-предупредительного ремонта и существуют многочисленные случаи эксплуатации пассажирских вагонов, требующие перекраски как по нормативному сроку, так и по техническому состоянию.

В результате воздействия окружающей среды в элементах металлоконструкций происходит возникновение местной коррозии в несущих элементах вагона. Данный вид коррозии является весьма распространённым и наименее изученным, поскольку подавляющее большинство деталей и конструкций эксплуатируются в агрессивных средах.

И в результате сбор и анализ информации о техническом состоянии основных несущих конструкций рамы и кузова вагонов, поступающих в ремонт, который осуществлялся в пассажирских вагонных депо и заводах, где осмотрено более ста вагонов, изготовленных в 1991–2010 годах, показал, что на хребтовых балках всех обследованных вагонов выявлено наличие коррозионного воздействия различной интенсивности: от коррозионных пятен до язв и очагов коррозионного разрушения металлоконструкций.

В третьем разделе произведены расчёты рам кузова опытного пассажирского плацкартного вагона, в конструкцию рамы которого входит хребтовая балка, исследовано образование остаточных напряжений в металле после проведения сварочных работ при приварке двутавра к шкворневой балке в процессе изготовления, а также наличия остаточных напряжений после дробеструйной обработки поверхностного слоя, исследованы свойства защиты металла от коррозионного воздействия при дробеструйной обработке и без неё, проведены исследования элементов хребтовых балок вагонов моделей 61-828 и 61-425, выработавших нормативных срок службы, на наличие остаточных напряжений в зависимости от глубины травления металла, проведено металлографическое исследование элементов этих хребтовых балок.

Для формирования расчёта конструкции плацкартного вагона методом конечных элементов произведено построение геометрической модели вагона

с расчётом каждого элемента матрицы жёсткости, определения перемещений, деформаций, напряжений в матричной форме по формуле (1):

$$\{Q\} = [K]\{q\} \quad (1)$$

где $\{Q\}$ – приведённая нагрузка; $[K]$ – матрица жёсткости; $\{q\}$ – вектор узловых перемещений конструкции.

После формирования условий осуществлен их расчёт с использованием проектно-вычислительного комплекса SCAD. Расчёты напряжённо-деформированного состояния проведены согласно расчётной схеме.

Полученными результатами установлено, что качественно и количественно НДС плацкартного вагона, в конструкцию которого заложены все нормативные размеры по толщине металла, соответствует во всех несущих конструкциях нормативу. Максимальные значения напряжений в элементах хребтовой балки (двухавровой зоне, зонах швеллера за концевыми балками, в обвязках рамы у шкворневой балки с тормозного и не тормозного концов вагона, а также поперечных балок не превышают допустимых значений (максимальное значение 312 МПа у шкворневой балки с тормозного конца вагона). В элементах каркаса рамы значения максимальных напряжений не превышают максимально допустимых.

При расчёте НДС плацкартного вагона с минимально допустимыми толщинами металла установлено, что сверхдопустимые напряжения возникли в следующих элементах рамы вагона: в середине хребтовой балки (двухавре), обвязке рамы у шкворневой балки и поперечной балки рамы швеллера 100х60х2,67.

По результатам проведённого экспериментального исследования структуры металла и основным прочностным показателям элементов хребтовых балок с трёх различных вагонов (1992 и 1980 годов постройки) моделей 61-828 и 61-425 соответственно установлено, что образцы всех хребтовых балок по структуре металла соответствуют стали марки 09Г2Д, а прочностные показатели соответствуют по ударной вязкости, пределу текучести и временному сопротивлению требованиям ГОСТ 14019-2003, ГОСТ 9454-78, 1497-84.

Проведено экспериментальное исследование наличия и распределения остаточных напряжений в участках хребтовой балки.

Для исследования из хребтовых балок вагонов вырезано по 3 фрагмента – по одному с котловой и не котловой сторон вагона в районе приварки к шкворневым балкам и один в средней части балки на значительном удалении от привариваемых элементов рамы. Вырезка осуществлялась с использованием угловой шлифовальной машины для исключения нагрева металлических элементов (рисунок 1).

Следующим этапом из каждого элемента хребтовой балки вырезано по 4 образца размером 5х60 мм непосредственно для проведения нижеизложенного исследования (вырезка осуществлялась гидроабразивным способом также в целях исключения нагрева вырезанных фрагментов

хребтовой балки и предотвращения изменения структуры металла исследуемых образцов).

В дальнейшем проводились вытравливание и измерение остаточных напряжений, а также величины деформации в зависимости от глубины травления каждого элемента по методу Н.Н. Давиденкова методикой ЦНИИТМАШа.

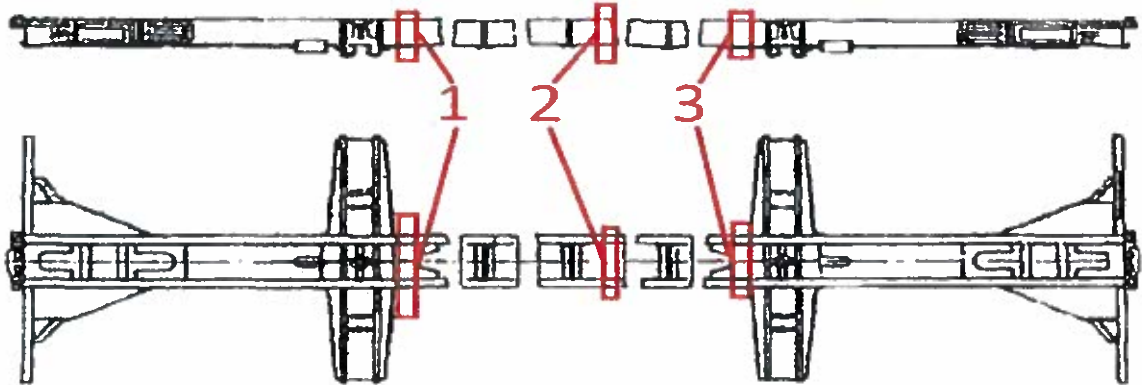


Рисунок 1 – Схематическое расположение вырезанных фрагментов из хребтовых балок вагонов моделей 61-828 и 61-425

Расчёт остаточных напряжений производился по формуле (2):

$$\sigma_0^0(x) = \sigma_H^0(x) - 4E \frac{f_0}{l^2} (\delta - 2x) - E \frac{\Delta l}{l}, \quad (2)$$

где $\sigma_0^0(x)$ – остаточные напряжения; $\sigma_H^0(x)$ – начальные напряжения; f_0 – стрела прогиба; l – длина образца; Δl – удлинение образца; δ – ширина образца; E – модуль упругости материала детали; x – текущая координата;

В местах, где наблюдается интенсивная коррозия (в районе приварки шкворневых балок), отклонение величин остаточных напряжений в разы выше, чем в других элементах балки, не затронутых коррозией. В результате обработки данных графики зависимости остаточных напряжений от глубины травления систематизированы на рисунках 2, 3, 4.

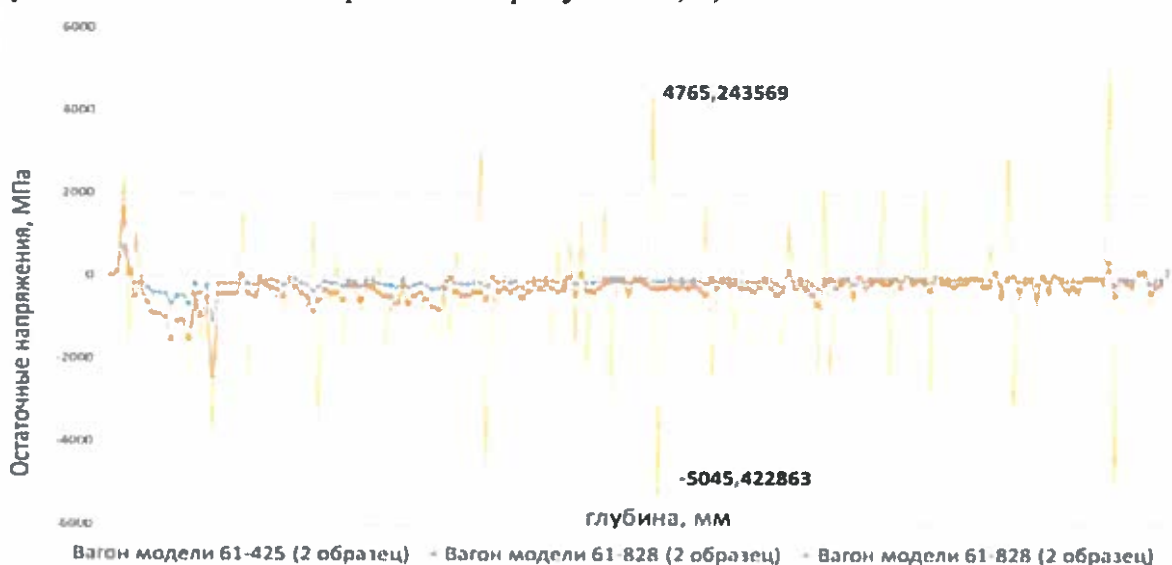


Рисунок 2 – График зависимости остаточных напряжений от глубины травления (котловая сторона)

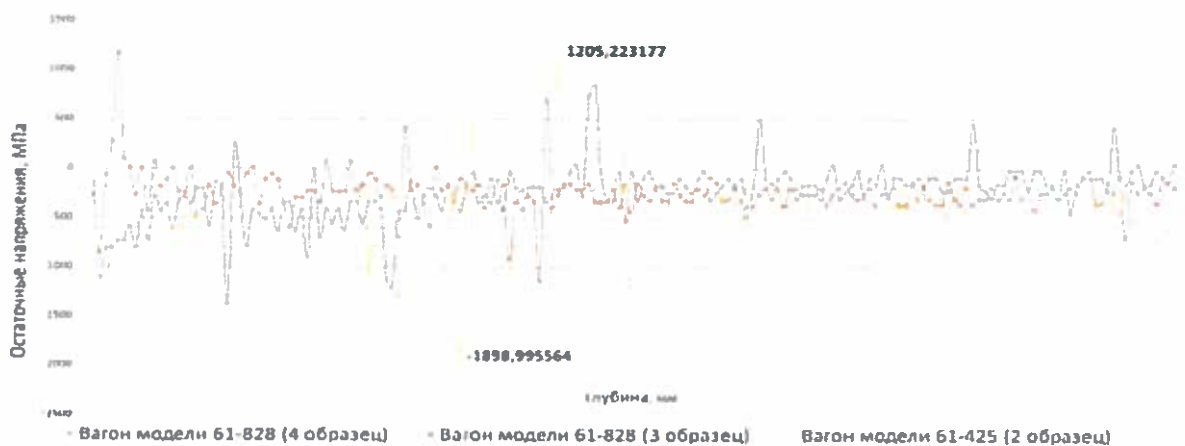


Рисунок 3 – График зависимости остаточных напряжений от глубины травления (средина)

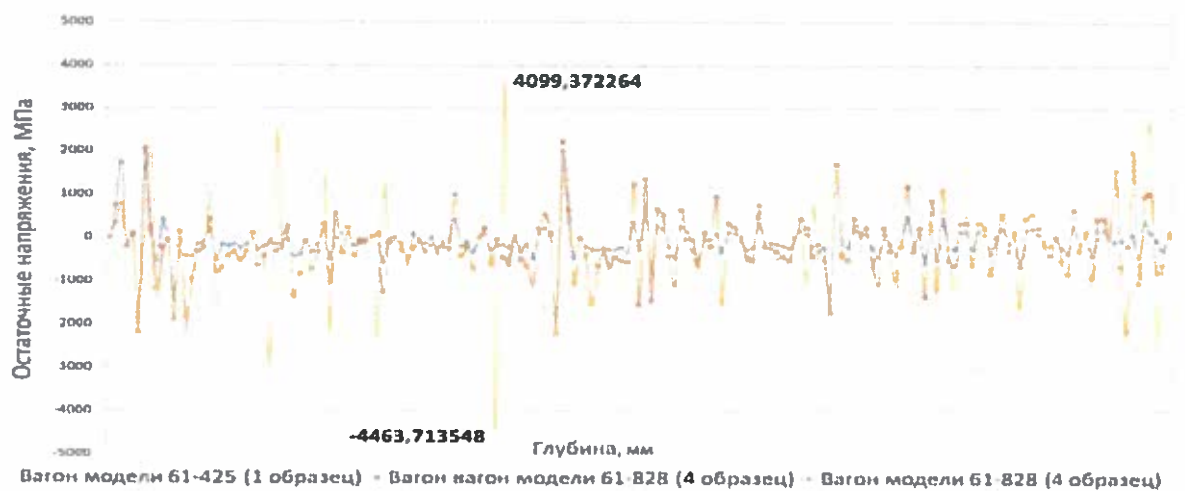


Рисунок 4 – График зависимости остаточных напряжений от глубины травления (не котловая сторона)

В процессе исследования установлено, что наибольшие остаточные напряжения при вытравливании выявлены в вырезанных фрагментах хребтовой балки вагона модели 61-425, изготовленного в 1980 году, с котловой и не котловой сторон.

По результатам исследования возникновения остаточных напряжений во вновь изготавливаемой хребтовой балке после приварки двутавра шкворневой балки, а также влияния дробеструйной обработкой поверхностного слоя полученные остаточные напряжения систематизированы на рисунках 5, 6.

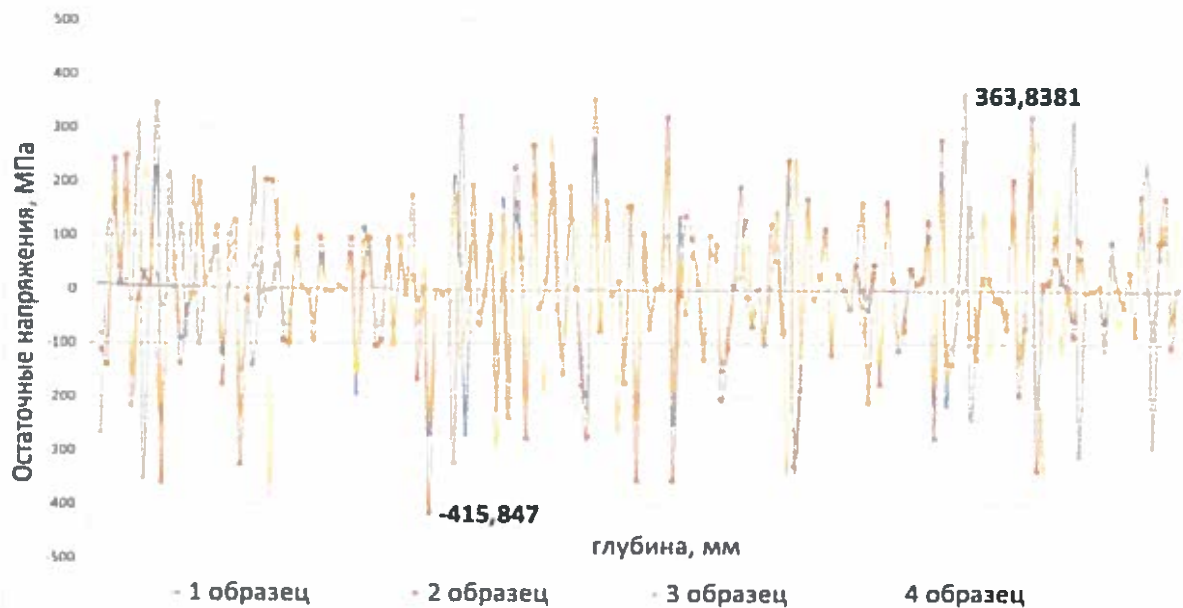


Рисунок 5 – График зависимости остаточных напряжений от глубины травления после приварки шкворневой балки к хребтовой

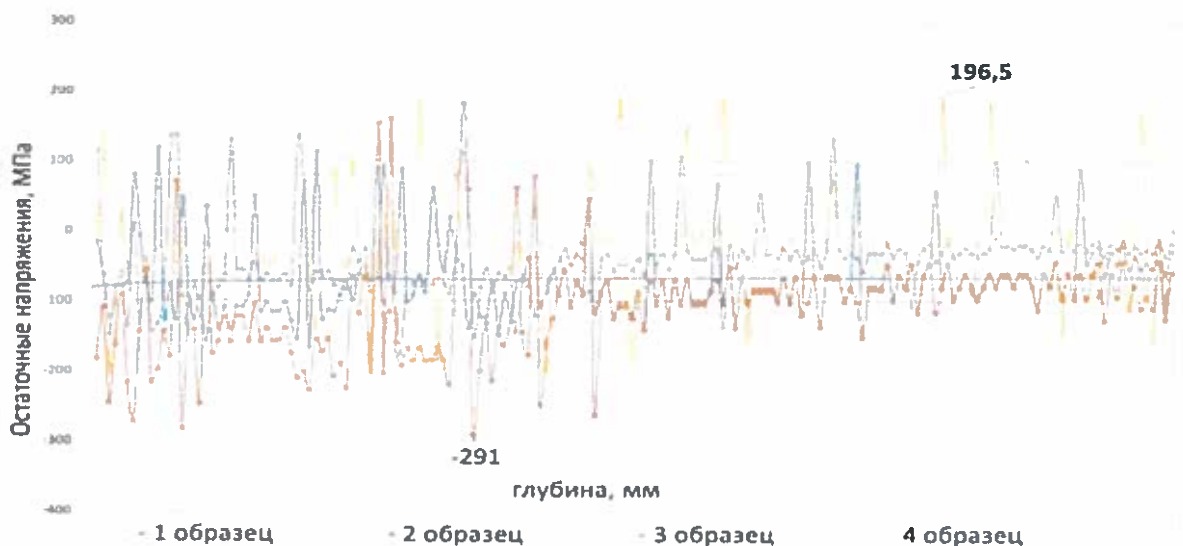


Рисунок 6 – График зависимости остаточных напряжений от глубины травления после дробеструйной обработки

По результатам проведённого исследования можно сделать вывод, что после дробеструйной обработки поверхностного слоя хребтовой балки наблюдается значительное снижение остаточных напряжений в металле, чем до её проведения.

При проведении металлографического исследования фрагментов хребтовых балок, вырезанных из этих вагонов, установлено, что максимальные коррозионные повреждения металла наблюдаются у хребтовой балки вагона модели 61-425, где выявлены коррозионные язвы до 145 мкм, у хребтовых балок вагонов моделей 61-828 коррозионные язвы менее интенсивные и достигают глубин от 80 до 105 мкм.

При измерении толщины образцов установлена неоднородность толщины слоя металла: толщина металла вагона модели 61-425 колебалась в пределах от 5778 до 5975 мкм, а образцов моделей вагона 61-828 – от 6087 до 6232 мкм и от 6260 до 6279 мкм.

Таким образом, коррозионные воздействия даже на вагоны одного года постройки и идентичного характера эксплуатации неодинаковы.

В четвертом разделе проведен расчет циклической долговечности рамы пассажирского вагона модели 61-425, выработавшего предельный нормативный срок службы, изучены свойства альтернативных лакокрасочных покрытий, позволяющих более эффективно снизить коррозионное влияние на металлические элементы рамы вагона, рассмотрено качество очистки, а также проведено сравнение качества механической и дробеструйной очисток хребтовой балки перед окраской пассажирского вагона, изложены результаты экспериментальной окраски пассажирского вагона модели 61-4186 с проведением дробеструйной очистки участков хребтовой балки вагона с последующей окраской резиновой водоразбавляемой краской.

Расчёт остаточного срока службы вагона модели 61-425 проводился по варианту установки элементов несущих конструкций кузова при постройке вагона в соответствии с требованиями «Положения о продлении срока службы пассажирских вагонов, курсирующих в международном сообщении» по формуле (3):

$$V_{\text{кор}} = \frac{S_{\text{ном}} - S_{\text{ф}}}{T}, \quad (2)$$

где: $V_{\text{кор}}$ – скорость коррозии и остаточный срок службы вагона; $S_{\text{ном}}$ – номинальная толщина элемента, определённая в соответствии с конструкторской документацией, мм; $S_{\text{ф}}$ – фактическая толщина элемента конструкции по результатам измерений, мм; T – срок службы вагона пассажирского типа от даты проведения ремонта или изготовления, лет.

На основании полученных результатов циклическая долговечность образца вагона модели 61-425, прошедшего капитально-восстановительный ремонт и полностью выработавшего продлённый срок службы (40 лет с момента постройки), составила для базовых элементов конструкции не менее 56 лет.

С учётом того, что образцом вагона модели 6-425 выработан срок службы (40 лет с момента постройки), минимальная величина остаточного срока службы вагона составляет 16 лет.

По результатам исследования влития дробеструйной обработки поверхностного слоя методом на развитие коррозии путем сравнения убыли массы образцов хребтовой балки с обработанной и необработанной поверхностью установлено, что на металле с дробеструйной обработкой поверхностного слоя убыль меньше, чем на металле без обработки.

При исследовании улучшения защиты хребтовой балки от действия внешних факторов и стойкости к коррозионным воздействиям проведены

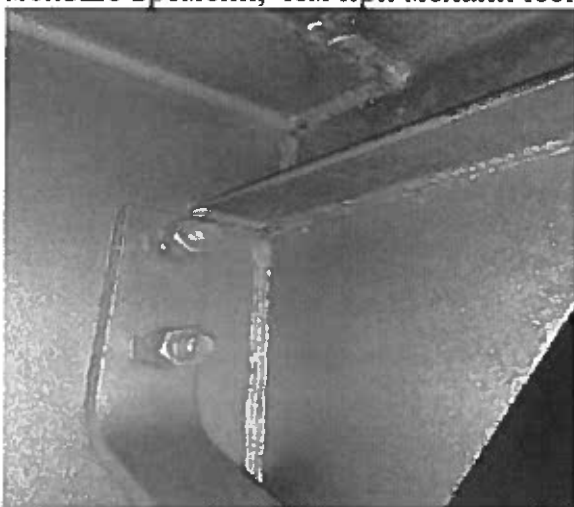
исследования и сравнение эксплуатационных свойств резиновой водоразбавляемой краски по металлу СВАН-500М с грунт-эмалью ЯрЛисоат 7130ЖТ, получившей наибольшее распространение для окраски экипажной части пассажирских вагонов.

В результате исследования установлено, что водоразбавляемая краска по металлу СВАН-500М имеет ряд преимуществ в сравнении с грунт-эмалью ЯрЛисоат 7130 ЖТ, а именно: стойкость лакокрасочного покрытия к деформациям и вибрации, отсутствие вредных выбросов при производстве работ, органических разбавителей, необходимости использования грунтовочного слоя, возможность нанесения краски на окисленную поверхность и экономия при окрасочных работах на 15 % ниже, чем при использовании грунт-эмалевой краски.

Для практической реализации и проверки заявленных свойств резиновой водоразбавляемой краски проведено покрытие хребтовой балки пассажирского вагона модели 61-4186 по разработанной технологии, позволяющей обеспечить эксплуатацию вагона в период всего межокрасочного периода (6 лет).

При подготовке к окраске подвагонного оборудования осуществлена очистка участков хребтовой балки вагона модели 61-4186 методами дробеструйной и механической обработок.

В результате дробеструйной обработки (рисунок 7) удалось без затруднений очистить все участки балки равномерно, включая труднодоступные места и сварные соединения в отличие от механической, где из-за конструктивных особенностей применяемого инструмента произвести очистку труднодоступных мест не удалось. Также при механической очистке происходит утонение сечения металла, что снижает прочностные характеристики хребтовой балки в отличие от метода дробеструйной очистки, при котором утонение металла не происходит. Кроме того, при проведении дробеструйной обработки затрачено в 15 раз меньше времени, чем при механической.



После дробеструйной обработки



После механической очистки

Рисунок 7 – Состояние элементов хребтовой балки после обработки механическим и дробеструйным способами

Технология нанесения лакокрасочного покрытия разработана с адаптацией к существующей технологической и нормативной базе в соответствии с требованиями норм безопасности, в том числе промышленной и пожарной, охраны труда, а также с возможностью обеспечить внедрение в технологический процесс с минимальными дополнительными затратами.

Так, при подготовке пассажирского вагона под окраску в вагоне должны в обязательном порядке проводиться работы по демонтажу навесных деталей, вагон должен направляться на проведение ремонтных операций с отремонтированными кузовными элементами и экипажной частью вагона.

При постановке вагона на позицию дробеструйной обработки дробеструйно-окрасочного комплекса работниками комплекса проводится дробеструйная обработка последовательно по всей длине хребтовой балки. Поверхность балки обрабатывают металлической дробью или другим абразивным материалом (чугунной дробью, металлическим песком или металлическим гранитом).

По результатам обработки наличие ранее нанесенного лакокрасочного покрытия, шлаков, продуктов сварочных и механических работ на элементах хребтовой балки не допускается. Качество металлического слоя должно соответствовать классу шероховатости не ниже Rz-50.

Окрашивание вагона осуществляется в специализированном помещении с обеспечением требований к температуре кузова вагона и соответствующим стандартам.

Все операции должны быть выполнены в следующей последовательности: дробеструйная обработка хребтовой балки с полной очисткой от ранее нанесённого покрытия, ржавчины и т.п., обдувка воздухом, обезжиривание поверхностей, окрашивание первым слоем краски, сушка, окрашивание вторым слоем краски, сушка.

По результатам выполнения последовательности операций в полном объёме окрашиваемая поверхность должна быть однородная, гладкая и сплошная, без трещин, проколов и сморщивания, а также соответствовать VII классу по ГОСТ 9.032-72.

С учётом вышеизложенного в целях повышения долговечности хребтовой балки пассажирского вагона, обеспечения безопасности и надёжности пассажирских вагонов, используемых в перевозочной деятельности на территории Российской Федерации и сопредельных государств, целесообразно использовать разработанную технологию, повышающую долговечность несущих элементов пассажирского вагона.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

На основе выполненных комплексных теоретических и экспериментальных исследований получены новые технические и

технологические решения по увеличению долговечности хребтовой балки и повышению жизненного цикла пассажирского вагона.

1 Проведенным анализом структуры парка пассажирских вагонов установлено, что используемые в перевозочной деятельности на территории Российской Федерации модели вагонов, в конструкцию которых заложено наличие хребтовой балки увеличивается и, по состоянию на 31.12.2020 г составляет 86 % от общего парка;

2 В результате исследования вновь изготавливаемой хребтовой балки доказано, что после приварки двутавра шкворневой балки к швеллеру хребтовой балки образуются знакопеременные остаточные напряжения от – 415 МПа до 354 МПа;

3 По результатам экспериментальных исследований определены участки хребтовой балки, подвергающиеся наибольшему коррозионному воздействию (металл в районе сварных швов примыкания к шкворневым, концевым и промежуточным балкам);

4 Исследованием элементов хребтовых балок, выработавших нормативной срок службы (40 лет) установлено, что металл в основном отвечает всем нормативным прочностным характеристикам;

5 Исследования элементов хребтовых балок, выработавших нормативный срок службы показали, что на коррозионное разрушение хребтовой балки в значительной степени влияет формирование в структуре металла значительного разброса остаточных напряжений, возникающих в процессе изготовления и эксплуатации вагона;

6 В результате проведения экспериментального лакокрасочного покрытия на хребтовую балку вагона доказано, что проведение дробеструйной обработки, в том числе в сварочных местах, стабилизирует поля остаточных напряжений, тем самым увеличивает коррозионную стойкость поверхностного слоя металла;

7 Применение перспективных лакокрасочных покрытий эффективно снижает коррозионное и внешнее воздействия на металлоконструкцию рамы пассажирского вагона;

8 Рекомендуются применение разработанной технологии подготовки и окраски хребтовой балки пассажирского вагона с интеграцией в систему планово-предупредительного ремонта, которая может быть внедрена в минимально короткие сроки во всех дробеструйно-окрасочных комплексах пассажирских вагонных депо и на вагоноремонтных заводах без существенных эксплуатационных и инвестиционных затрат;

9 Перспективой дальнейшей разработки темы является оценка новых лакокрасочных покрытий для защиты экипажной части подвижного состава от воздействия внешних факторов и коррозионного влияния на силовой каркас рамы пассажирского вагона.

**ОСНОВНЫЕ ПОЛОЖЕНИЯ ДИССЕРТАЦИИ ОПУБЛИКОВАНЫ
В СЛЕДУЮЩИХ РАБОТАХ**

а) публикации в журналах, входящих в перечень ВАК

1. Евсеев, Д.Г. Способ увеличения продолжительности и жизненного цикла пассажирского плацкартного вагона / Д.Г. Евсеев, М.Ю. Куликов, М.А. Ларионов, А.С. Шинкарук // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2021. – № 6 (103). – С. 47–51.

2. Евсеев, Д.Г. Повышение долговечности хребтовой балки пассажирского вагона / Д.Г. Евсеев, М.Ю. Куликов, А.С. Шинкарук // Известия Транссиба. – 2021. – № 2 (46). – С. 71–76.

3. Шинкарук, А.С. Коррозионное влияние на несущие элементы пассажирского вагона / А.С. Шинкарук // Транспортное машиностроение – 2022. № 4(4) – С 69 – 77.

б) в издании, входящего в международную базу цитирования Scopus

4. Evseev, D.G. Technological Safety of a Passenger Car. Ensuring Reliable Maintenance of the Main Components and Elements of a Passenger Car During Its Operation Cycle / D.G. Evseev, M.Yu. Kulikov, A.S. Shinkaruk // 2021 International Conference on Quality Management, Transport and Information Security, Information Technologies (IT&QM&IS). – 2021. – P. 72–74. DOI: 10.1109/ITQMIS53292.2021.9642812

в) в других изданиях и материалах конференций

5. Шинкарук, А.С. Долговечность хребтовой балки плацкартного вагона / А.С. Шинкарук // Вагоны и вагонное хозяйство. – 2020. – № 4. – С. 40–41.

ШИНКАРУК Андрей Сергеевич

ПОВЫШЕНИЕ ПРОДОЛЖИТЕЛЬНОСТИ ЖИЗНЕННОГО ЦИКЛА
ПАССАЖИРСКОГО ВАГОНА НА ОСНОВЕ УВЕЛИЧЕНИЯ
ДОЛГОВЕЧНОСТИ ЕГО ХРЕБТОВОЙ БАЛКИ

АВТОРЕФЕРАТ

диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук

2.9.3. Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация.

Подписано в печать
Объем 1,5 усл. п.л.

2022 г.

Заказ №
Тираж 80 экз.

Формат 60×90/16

127994, г. Москва, ул. Образцова, д. 9, стр. 9,
ЦСО Отдел дизайна, вёрстки и печати РУТ (МИИТ)