

Транспортные системы Transport systems

Научная статья

Статья в открытом доступе

УДК 625.1

doi: 10.30987/2782-5957-2023-5-51-59

БЕЗОПАСНАЯ ЭКСПЛУАТАЦИЯ ВАГОНОВ ПРИ НАЛИЧИИ НЕИСПРАВНОСТЕЙ

Татьяна Александровна Попова^{1✉}, Александр Петрович Попов²

^{1,2} Российский университет транспорта (МИИТ), Москва, Россия

¹ tatiana241187@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6620-2292>

² pap60@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4618-4154>

Аннотация

Проведено исследование различных видов неисправностей на железнодорожном транспорте. Выполнена оценка их критического влияния на безопасность эксплуатации. Исследование направлено на изучение статистической информации о возникновении отказов и неисправностей как на подвижном составе, так и на железнодорожных путях. При высоких нагрузках на механические узлы высока вероятность возникновения различных дефектов, что требует наиболее тщательного исследования надежности элементов конструкции. Любое отклонение может привести к существенным поломкам и принести огромный ущерб, особенно это касается подвижного состава для пассажирских перевозок, либо перевозок опасных гру-

зов. Также следует прогнозировать показатели надежности и устойчивости системы к различным воздействиям. В связи с этим исследование направлено на оценку отказов железнодорожных систем и критичности их влияния на безопасность движения. Несмотря на такой большой интерес к вопросам оценки и обеспечения безопасности железнодорожного транспорта до сих пор нет однозначной оценки параметров железнодорожных экипажей и полотна для предельного коэффициента устойчивости, при превышении которого состав с высокой долей вероятности сойдет с рельс.

Ключевые слова: конструкции, безопасность, неисправность, оценка, качество, надежность.

Ссылка для цитирования:

Попова Т.А. Безопасная эксплуатация вагонов при наличии неисправностей / Т.А. Попова, А.П. Попов // Транспортное машиностроение. – 2023. – № 05. – С. 51-59. doi: 10.30987/2782-5957-2023-5-51-59.

Original article

Open Access Article

SAFE CAR OPERATION IN THE PRESENCE OF MALFUNCTIONS

Tatiana Aleksandrovna Popova^{1✉}, Aleksandr Petrovich Popov²

^{1,2} Russian University of Transport (MIIT), Moscow, Russia

¹ tatiana241187@gmail.com, <https://orcid.org/0000-0002-6620-2292>

² pap60@bk.ru, <https://orcid.org/0000-0002-4618-4154>

Abstract

A study of various types of malfunctions in railway transport is conducted. Their critical impact on the safety of operation is evaluated. The research is aimed at studying statistical data on appearing failures and malfunctions both on rolling stock and on railway tracks. At high loads on mechanical components, the probability of various defects is high, which requires

the most thorough study of the reliability of structural elements. Any deviation can lead to significant breakdowns and cause huge damage, especially for rolling stock for passenger transportation or transportation of dangerous goods. It is also necessary to predict the indicators of reliability and stability of the system to various impacts. In this regard, the study is aimed at

evaluating the failures of railway systems and their critical impact on traffic safety. Despite such a great interest in the problems of evaluating and ensuring the safety of railway transport, there is still no unambiguous evaluation of the parameters of railway carriages

Reference for citing:

Popova TA, Popov AP. Safe car operation in the presence of malfunctions. *Transport Engineering*. 2023; 5:51-59. doi: 10.30987/2782-5957-2023-5-51-59.

Введение

Развитие науки и техники однозначно является двигателем прогресса. В настоящее время возрождается интерес к развитию машиностроения, соответственно, любые инновационные решения могут принести существенный вклад в данную отрасль.

Когда-то провозглашенный триумфом механической изобретательности железнодорожный транспорт и по сей день не теряет своей роли в перевозках. Развитие данной отрасли предполагает нахождение

Материалы и методы

Использованы материалы технической литературы по вопросам обеспечения безопасности как в России, так и за рубежом. Рассмотрены методики, а также изучены статистические данные об отказах железнодорожных систем в России. Изучен практический опыт определения технических неисправностей подвижного состава на железнодорожном участке при

Направленность на обеспечение безопасности

Согласно разработанной стратегии развития железнодорожной отрасли в Российской Федерации, перед железнодорожным транспортом поставлены задачи, направленные на повышение социально-экономического роста страны. Основной среди равных является задача обеспечения безопасности функционирования железнодорожного транспорта [1].

Таким образом, изучив развитие железнодорожного транспорта, можно сделать вывод, что инфраструктура развивается с каждым годом, для того чтобы повысить качество и безопасность перевозки.

В работе [2] проводится исследование факторов, пагубно влияющих на техническое состояние подвижного состава.

and the track for the maximum stability coefficient, if exceeded, the train is highly likely to derail.

Keywords: constructions, safety, malfunction, evaluation, quality, reliability.

различных технологических решений, которые позволят сделать данный вид транспорта еще более удобным и надежным. В связи с повышенными требованиями к безопасности обеспечения перевозок, крайне актуальными являются вопросы обеспечения надежности эксплуатации железнодорожного транспорта. Ввиду глобального стремления человечества к ускорению преодоления расстояний необходимо обратить внимание на обеспечение безопасности транспортных систем.

проведении технического обслуживания. Разработана методология оценки безопасной эксплуатации подвижного состава при наличии некритических неисправностей.

Для подготовки текста данной работы были использованы научная литература российский и зарубежных авторов, стандарты и нормы, относящиеся к подвижному составу и путям.

Показано, что силы взаимодействия железнодорожного состава и пути в наибольшей степени определяются криволинейностью и неровностями дорог. Также, среди причин быстрого износа и возникновения отказов можно выделить как геометрические неровности рельсов, так и колесных пар. Среди наиболее существенных сил взаимодействия можно назвать силы, возникающие из-за неравномерного распределения массы в колесных парах подвижного состава силы приводят к автоколебательным, а также резонансным явлениям в механической системе вагон-путь. Кроме того, имеет место влияние различного рода зазоров, возникающих вследствие дефектов пути, а также несо-

вершенная поверхность колес железнодорожного состава. Возвращаясь к вопросу безопасности, нельзя не упомянуть ограничения скорости, которые зависят от ряда причин, в частности наличие боковых колебаний вагонов в процессе движения существенно влияет на динамические качества подвижного состава.

В работе [3] приведены статистические данные относительно отрицательного влияния неправильной геометрии колес, возникающая вследствие отколов, сдвига металла, ползунов и т.д., которая приводит к возникновению ударных воздействий. Аналогично влияют и дефекты со стороны путей, например, при наличии зазоров в стыковых соединениях, либо наличие участков с большими просадками. Распределение сил в точке контакта колеса подвижного состава с рельсом определяет динамику вагонов и путей.

Глубокое понимание динамического взаимодействия между поездом и рельсами может привести к улучшению конструкции транспортного средства и путевых структур, более глубокому пониманию механизмов повреждения и, следовательно, к более разумному планированию технического обслуживания.

Нарушение безопасности движения иногда имеет место даже при сохранении всех косвенных параметров безопасности. Если бы силы взаимодействия подвижного состава и пути можно было контролировать напрямую, таких аварий можно было бы избежать. Для обеспечения безопасности движения и снижения количества остаточных дефектов на пути необходимо оценивать воздействие инфраструктуры подвижного состава на железнодорожный путь.

На основе анализа зарубежной литературы, моделирование износов и отказов на железной дороге носит сильный эмпирический ретроспективный характер, в большинстве случаев основанный на данных моделирования с ограниченными перспективными возможностями.

Необходимо иметь возможность не просто произвести оценку уже имеющегося состояния, но и возможность прогнозирования дальнейшего поведения системы:

будь то износ или возникновение отказов. Случайные отказы также имеют место быть, поэтому, чем точнее построить прогноз, тем больше вероятности на благоприятный исход решения задач по управлению качеством. Здесь требуется системно решать логистические, оценочные задачи, а также задачи обеспечения запасными частями наиболее слабых узлов. В ряде работ, в частности в работе [4], поднимается вопрос об обеспечении «неснижаемым запасом» запасных частей. Задача создания неснижаемого запаса решается на острие борьбы встречных интересов ремонтной службы и финансового менеджмента предприятия. Под этим определением надо понимать резерв запасных частей, материалов и оборудования, которые обеспечат оперативное проведение восстановительных или ремонтных работ. На сегодняшний день затраты на ремонт подвижного состава составляют немаловажную часть эксплуатационных расходов трансграничного комплекса.

Классификация неисправностей подвижного состава. Функции технического диагностирования требуют создания систем технического контроля, которые смогут комплексно оценить механику взаимодействия и точность функционирования механизмов на участках пути. Суть проведения технической диагностики заключается в определении безотказности системы и нахождении оптимальных технических характеристик элементов подвижного состава, при которых возможно безаварийная эксплуатация. Для проведения диагностирования систем используются как аппаратные, так и программные средства.

При проведении процедуры технического диагностирования вагонных механизмов решается задача процесса управления, а также своевременного выявления слабых мест. Для решения конкретных задач диагностики требуются определенные методики. Многообразие методов диагностики обусловлено сложностью структур изучаемых объектов. Для проведения диагностики отдельных участков необходимо применять специальные устройства, позволяющие использовать методики нераз-

рушимого контроля для выявления скрытых дефектов.

Среди наиболее критичных неисправностей можно выделить неисправности колесных пар. Подобный род неисправностей может привести к отцепам вагонов и даже к крушению подвижного состава ввиду возникновения изломов или повреждений осевых шеек колесных пар. На сегодняшний день жестко определены категории неисправностей, при которых согласно правилам технической эксплуатации железных дорог, допускается либо не допускается эксплуатация конкретного подвижного состава. В частности, при наличии любых неисправностей колесных пар, например, поперечных трещин, либо износов и повреждений, которые не позволяют обеспечить нормальное взаимодействие системе колесо - рельс, не допускается эксплуатация состава. Аналогичная ситуация будет при обнаружении следов контакта электрода.

В результате углубленного анализа причин возникновения неисправностей колесных пар можно выделить следующие группы дефектов: неисправности, вызванные повреждением металла; неисправности, возникающие вследствие эксплуатации.

К первой группе отнесем дефекты, вызванные усталостью металла (изломы, разрывы, трещины, выщерблены и так далее), либо коррозии. Ко второй группе отнесем дефекты, вызванные износом либо перегревом. В частности, это могут быть термические трещины на поверхности катания колес, смещение металла (навар или накат), возникновение ползунов.

Кроме того, критичными дефектами колесной пары являются сдвиг ступицы колеса, разность диаметров колес или несоответствие регламентированных расстояний между внутренними гранями колес.

По зарубежным аналитическим данным, на основе канадских исследований за 2020 год [5], на грузовые поезда приходилось 34 % всех поездов, попавших в железнодорожные аварии в 2020 году. В 2020 году 13% железнодорожных аварий произошли с участием транспортных средств

или пешеходов на железнодорожных переездах, что ниже среднего показателя за предыдущие 10 лет (16 %). Доля других типов аварий (16 %) в 2020 году была выше среднего показателя за 10 лет (12 %).

Возможно, применение следующих мер обеспечения безопасности:

- внедрение систем управления безопасностью;

- повышение требований к безопасности пассажиров и готовности к чрезвычайным ситуациям;

- применение более строгих требований для поездов, перевозящих опасные грузы;

- применение внутрикабинных видеокамер для контроля за техническим состоянием и работоспособностью локомотивов;

- ужесточение требований к вагонам-цистернам, перевозящим легковоспламеняющиеся жидкости;

- принятие оперативных решений по ликвидации и предотвращению отказов системы;

- своевременный анализ технического состояния подвижного состава;

- оценка динамики движения поездов.

В значительной степени безопасность на транспорте обеспечивается внедрением современных инноваций в инфраструктуру железнодорожной отрасли, модернизацией подвижного состава и усовершенствованием операций обслуживания, включающих передовые вычислительные комплексы, устанавливаемые на борту и на путях, высокоскоростную связь, энергоэффективные тяговые системы и новые путевые материалы [6].

Одной из автоматизированных систем по сбору и анализу данных в нашей стране является система КАС АНТ (Комплексная автоматизированная система учета, контроля устранения отказов в работе транспортных средств и анализа их надежности). Для оценки надежности автономного тягового подвижного состава разработаны стандарты ГОСТ31187-2011, ГОСТ31428-2011 [7, 8].

Нельзя отрицать и целесообразность обращения к экспертным оценкам специалистов, которые помогут подобрать ин-

струментарий и определяют вектор подходов к обеспечению безопасности [9].

На основе статистических данных об отказах, полученных на одном из участков Транссибирской железной дороги, можно говорить о необходимости проведения наиболее тщательных исследований воздухораспределителей и узлов вагонных тележек.

По статистическим данным за последние 10 месяцев 2022 года отказы технических средств распределились следующим образом (рис. 1):

– неисправность воздухораспределителя грузового вагона – 12 случаев (увеличение по типу количества отказов технических средств на 83% в сравнении с аналогичным периодом 2021г.);

– неисправность буксового узла грузового вагона – 2 случая;

– неисправность тормозной магистрали грузового вагона – 3 случая;

– неисправность арматуры тормозного оборудования грузового вагона – 2 случая;

– неисправность элементов крепления тормозного оборудования грузового вагона – 1 случай.

По диаграмме видно, что более половины случаев отказов вызвано выходом из строя воздухопроводов, однако, наиболее критичные отказы с точки зрения устойчивости железнодорожного состава – это отказы тормозного оборудования и буксовых узлов.

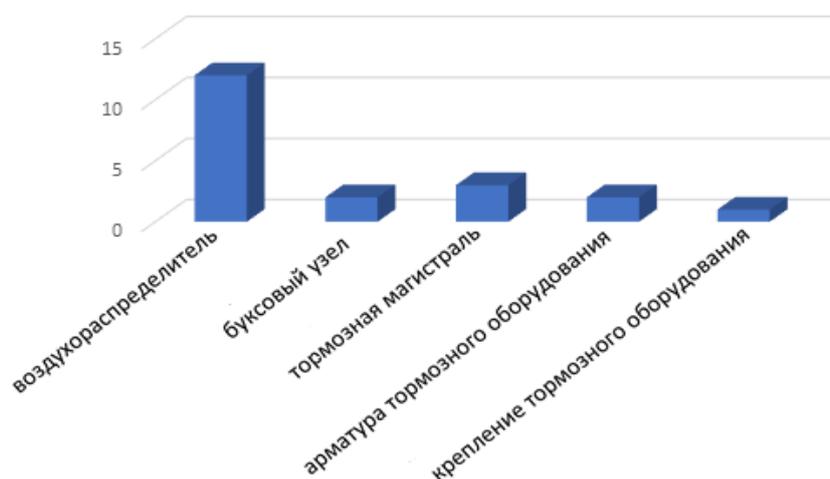


Рис.1. Распределение по типам отказов за 2022 год

Fig. 1. Distribution by failure types for 2022

По сравнению с 2021 годом число отказов сократилось. Распределение отказов узлов вагонных систем представлен на рис. 2.

Для оценки отказов применяются автоматизированные системы, с помощью которых можно выделить три категории. К первой категории относятся отказы, которые приводят к нарушению безопасности движения поездов или задержке пассажирского поезда более чем на 6 минут и грузового поезда более чем на час. Отказы, влекущие за собой ухудшение эксплуатационных показателей, и при которых происходит задержка грузового поезда от 6 минут до 1 часа, относят к отказам второй категории. К третьей категории относятся

несущественные отказы, которые не влекут за собой критичных последствий.

Для правильной интерпретации вышеприведенных классификаций следует понимать, что время задержки учитывается как первого, так и последующих поездов вследствие возникновения отказа.

По данным, полученным с помощью системы КАС АНТ за последнее время можно проследить динамику возникновения отказов в соответствии с установленными категориями.

На рис. 3 показаны данные, полученные за 3-й квартал 2022 года. На рис. 4 приведено распределение отказов по категориям за последние 2 года.

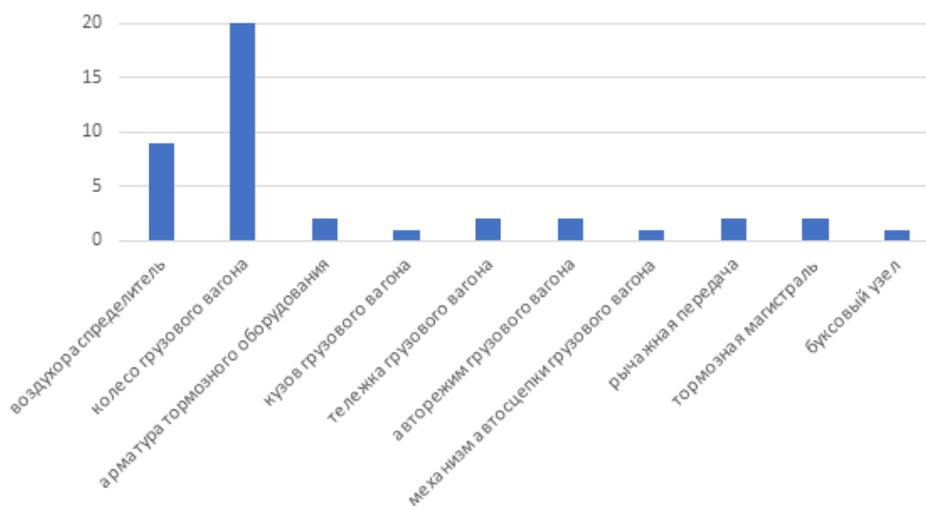


Рис. 2. Распределение отказов за 2021 год
 Fig. 2. Distribution of failures for 2021

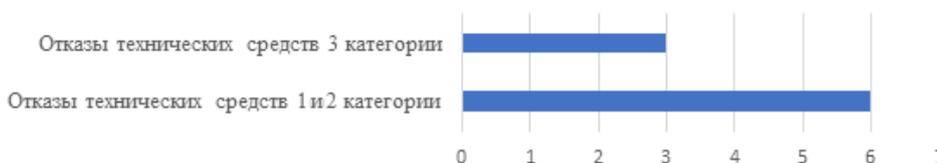


Рис. 3. Распределение отказов по категориям за 3 квартал 2022 г
 Fig. 3. Distribution of failures by categories for the 3rd quarter of 2022



Рис. 4. Распределение отказов по категориям за последние 2 года
 Fig. 4. Distribution of failures by category over the last 2 years

Неисправности колесной пары

Износ и деформация колесных пар – наиболее частые причины невозможности эксплуатации подвижного состава. Это происходит из-за постоянных статических и динамических нагрузок. Помимо неотъемлемого влияния механических сил, возникновение отказов также возникает вследствие технологических ошибок при изготовлении колесных пар, неправильной сборки тележки, а также при изнашивании либо дефектах тормозной системы. При

обнаружении любых дефектов колесных пар, согласно нормативной документации необходимо выкатывать колесную пару из под вагона и проводить регламентные работы: замену либо ремонт колесной пары.

По статистике, наиболее часто у колесных пар отмечаются следующие дефекты: вертикальный подрез гребня, остроконечный накат, либо износ по толщине. Особенно остро стоит вопрос выявления подобных дефектов при эксплуатации по-

движного состава на длинных участках пути с крутыми кривыми. Названные выше неисправности могут вызвать сход вагона с рельсов при проходе стрелочных переводов, где крайне важна правильная геометрия колес.

Для выявления неисправности колесных пар проводят внешний осмотр и измерения величины подреза гребня шаблоном. Необходимо тщательно производить замеры геометрии колеса согласно установленным нормам: «на высоте 18 мм от вершины, толщина гребня должна быть не более 33 мм у всех вагонов и не менее 25 мм при скорости движения поездов до 120 км/ч, не менее 28 мм при скорости движения от 120 км/ч до 140 км/ч и не менее 30 мм – при скорости движения от 140 до 160 км/ч» [10].

По требованиям безопасности обеспечение устойчивости движения подвижного состава определяется соблюдением норм технических параметров колесных пар тележек вагонов, в частности определение их износов.

Динамические характеристики подвижного состава определяются запасом устойчивости. При этом производится оценка вероятности безаварийной эксплуатации подвижного состава. Для определения коэффициента устойчивости против

Выводы

В заключение хочется отметить, что безопасная эксплуатация железнодорожных систем при наличии неисправностей возможна при условии проведения углубленного анализа выявленных неисправностей с помощью компьютерного моделирования для оценки коэффициента устойчивости вагонов и определения возможностей безопасного движения по железнодорожным путям. Для своевременного устранения неисправностей требуется проведение регламентных работ по техническому обслуживанию.

Контроль качества является неотъемлемой частью обеспечения безопасной эксплуатации железнодорожного транспорта. Информационное обеспечение и компьютерное моделирование играют в данных вопросах основную роль. Необ-

вкатывание колеса на головку рельса необходимо учесть вертикальные и равные силы, а также силы трения в точке контакта гребня колес с поверхностью рельса. Необходимо учесть влияние геометрических параметров колесной пары. Таким образом коэффициент запаса устойчивости является интегральным показателем. Помимо оценки возможности выкатывания колес, необходимо учитывать влияние боковых сил. В работе [2] приведены данные о взаимодействии колесных пар и путей в кривых участках дороги, а также данные по выявлению причин схода колеса вагона с рельсов под воздействием боковых сил «между колесом и рельсом от действия момента сопротивления повороту тележки под кузовом».

Также для оценки возможности безопасной эксплуатации подвижного состава обосновано использование моделирования взаимодействия колесных пар тележки и пути. Компьютерные модели позволяют оценить коэффициенты воздействия вертикальных динамических сил, а также ускорений рамы кузова вагона, горизонтальное ускорение и коэффициенты динамических связей рамы тележки с надбуксовым подвешиванием [11].

димой предпосылкой для применения цифровых технологий в сфере обеспечения безопасности на железнодорожном транспорте является тщательное методологическое исследование всех возможных критериев.

При построении компьютерных моделей необходимо учитывать наличие стандартов и норм, вводить уточняющие коэффициенты, показывающие прогнозируемый износ. Таким образом можно оценить устойчивость системы в процессе взаимодействия элементов конструкции подвижного состава на конкретных участках пути. Кроме того, можно произвести оценку как штатных режимов работы, так и эксплуатации при экстремальных условиях.

СПИСОК ИСТОЧНИКОВ

1. Леонтьева С.С. Автоматизированные системы мониторинга пожарного риска железнодорожных перевозок опасных грузов / С.С. Леонтьева // Санкт-Петербургский университет ГПС МЧС России. 2022. С.225-229.
2. Николаев В.А. Краткий анализ состояния проблемы взаимодействия грузовых вагонов и железнодорожного пути / В.А. Николаев, Д.Е. Родина // Технологии 2022. МЦНС "Наука и просвещение".- международная научно-практическая конференция. 2022.
3. Ушкалов В.Ф. Статистическая динамика рельсовых экипажей / В. Ф. Ушкалов, Л. М. Резников, С. Ф. Редько. Киев: Наукова думка, 1982. – 360 с.
4. <https://eam.su/zapas-kotoryj-ne-podvedyot-metodika-formirovaniya-nesnizhaemogo-zapasa.html> / Запас, который не подведёт: методика формирования неснижаемого запаса, Консалтинговый проект «ЕАМ» / А.В. Сидоров
5. <https://www.bst-tsb.gc.ca/eng/stats/rail/2020/sser-sro-2020.html>. 3.11.2022 Rail transportation occurrences in 2020, The Transportation Safety Board of Canada (TSB)
6. Hessami A. G. A Systems View of Railway Safety and Security / A. G. Hessami // Additional information is available at the end of the chapter. – 2015.
7. ГОСТ 31187-2011. Тепловозы магистральные. Общие технические требования. М.: Стандартиформ, 2012. II, 31 с.
8. ГОСТ 31428-2011. Тепловозы маневровые с электрической передачей. Общие технические требования. М.: Стандартиформ, 2011. III, 45 с.
9. Владимиров С.А. Об основных направлениях развития мировой транспортной системы и логистики / С.А. Владимиров // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. № 12. 2015.
10. Правила технической эксплуатации железных дорог Российской Федерации. СПС ГАРАНТ: нормативно-правовая документация.
11. Анисимов П.С. Испытания вагонов: Монография / П.С. Анисимов. М.: Маршрут, 2004. -197 с.

REFERENCES

1. Leontieva SS. Automated fire risk monitoring systems for railway transportation of dangerous goods. Saint Petersburg: Saint Petersburg University of State Fire Service the Ministry of EMERCOM of Russia; 2022.
2. Nikolaev VA, Rodina DE. A brief analysis of the problem of interaction between freight cars and the railway track. International Scientific and Practical Conference, 2022: Technologies of 2022. Science and Education; 2022.
3. Ushkalov VF, Reznikov LM, Redko SF. Statistical dynamics of rail crews. Kiev: Naukova dumka; 1982.
4. Sidorov AV. A stock that will not fail: a method to form an irreducible stock, Consulting Project EAM. Available from: <https://eam.su/zapas-kotoryj-ne-podvedyot-metodika-formirovaniya-nesnizhaemogo-zapasa.html> //
5. Rail transportation occurrences in 2020, The Transportation Safety Board of Canada (TSB). Available from: <https://www.bst-tsb.gc.ca/eng/stats/rail/2020/sser-sro-2020.html>. 3.11.2022.
6. Hessami AG. A Systems view of railway safety and security. 2015.
7. GOST 31187 2011. Mainline diesel locomotives. General technical requirements. Moscow: Standartinform; 2012.
8. GOST 31428 2011. Shunting locomotives with electric transmission. General technical requirements. Moscow: Standartinform; 2011.
9. Vladimirov SA. On the main directions of developing the world transport system and logistics. International Journal of Applied and Fundamental Research. 2015;12.
10. Rules of technical operation of the Russian Federation railways. SPS GARANT.
11. Anisimov PS. Testing of cars: monograph. Moscow: Marshrut; 2004.

Информация об авторах:

Попова Татьяна Александровна – ст. преподаватель кафедры ТТМиРПС РУТ (МИИТ), тел. +7-917-560-73-35, Scopus-Author ID 57215115792, Author-ID-РИНЦ 8517-7756.

Popova Tatiana Aleksandrovna – Senior Lecture of the Department of Technology of Transport Engineering and Rolling Stock Repair at Russian University of Transport (MIIT), phone: +7-917-560-73-35, Scopus-Author ID 57215115792, Author-ID-RSCI 8517-7756.

Попов Александр Петрович – кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры ТТМиРПС РУТ (МИИТ), тел. +7-916-164-77-35.

Popov Aleksandr Petrovich - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Technology of Transport Engineering and Rolling Stock Repair at Russian University of Transport (MIIT), phone: +7-916-164-77-35.

**Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации.
Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article.**

**Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.
The authors declare no conflicts of interests.**

**Статья опубликована в режиме Open Access.
Article published in Open Access mode.**

Статья поступила в редакцию 01.03.2023; одобрена после рецензирования 14.04.2023; принята к публикации 27.04.2023. Рецензент – Антипин Д.Я., кандидат технических наук, доцент кафедры «Подвижной состав железных дорог», директор учебно-научного института транспорта Брянского государственного технического университета, член редколлегии журнала «Транспортное машиностроение».

The article was submitted to the editorial office on 01.03.2023; approved after review on 14.04.2023; accepted for publication on 27.04.2023. The reviewer is Antipin D.Ya., Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Railway Rolling Stock, Director of the Educational and Scientific Institute of Transport at Bryansk State Technical University, member of the Editorial Board of the journal *Transport Engineering*.