

УДК 629.4

*Р. Х. Рафиков, А. С. Шинкарук, А. А. Кульков, Н. А. Горюнов***УПРОЧНЕНИЕ БАНДАЖЕЙ КОЛЕСНЫХ ПАР ЛОКОМОТИВОВ И
МОТОРВАГОННОГО ПОДВИЖНОГО СОСТАВА¹**

Аннотация. На железнодорожном транспорте особое внимание уделяется проблеме обеспечения безопасности перевозок, а также сокращению расходов на обслуживание подвижного состава. Одним из вариантов решения данной задачи является обеспечение прочности бандажной части тягового подвижного состава, а именно, упрочнение бандажа колесной пары.

Ключевые слова: тяговый подвижной состав, бандаж, колесная пара, лазерное упрочнение, надежность.

Для цитирования: Рафиков, Р. Х. Упрочнение бандажей колесных пар локомотивов и моторвагонного подвижного состава / Д Р. Х. Рафиков, А. С. Шинкарук, А. А. Кульков, Н. А. Горюнов // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2024. – № 1. – С. 42–48.

Упрочнение бандажей колесных пар (далее – КП) – процесс увеличения прочности бандажей, которые являются важной частью КП железнодорожного тягового подвижного состава (далее – ТПС). Бандажи служат для повышения износостойкости и обеспечения надежности КП локомотивов и моторвагонного подвижного состава (далее – МВПС), а также для обеспечения безопасности и эффективности движения поездов. Усиленные бандажи способны выдерживать высокие нагрузки и уменьшать риск разрушения или поломки КП во время эксплуатации. Поэтому, в зависимости от условий эксплуатации и требований безопасности, упрочнение бандажей может быть необходимым процессом для поддержания надежности железнодорожного транспорта (далее – ЖД транспорта).

Рассмотрим основные методы упрочнения бандажей:

- легирование материала бандажа;
- ковка;
- защитные покрытия;
- термообработка.

Добавление специальных легирующих элементов в сталь, является одним из методов упрочнения бандажей КП ТПС, из которой изготавливают бандажи. Такие элементы, как хром, молибден и ванадий, способствуют улучшению прочности и износостойкости бандажей. Этот метод называется легированием и требует проведения специальных технологических процессов при изготовлении бандажей. Марки сталей, используемых для производства элементов КП (см. табл.): 2 – для пассажирского, грузового и маневрового ТПС, моторных вагонов электро- и дизель-поездов и специального железнодорожного подвижного состава, 4 – для грузового и маневрового ТПС [1].

Другим методом упрочнения является ковка бандажей. Процесс пластической деформации металла под воздействием удара или давления. Ковка позволяет улучшить структуру и свойства материала, повышая его прочность и устойчивость к усталости.

Кроме того, существуют специальные покрытия для бандажей, которые также способствуют упрочнению. Одним из примеров таких покрытий является хромирование, которое увеличивает твердость и износостойкость бандажей.

¹Статья рекомендована к публикации оргкомитетом по результатам 15-й юбилейной Международной научно-практической конференции «Перспективы развития локомотиво-, вагоностроения и технологии обслуживания подвижного состава».

Таблица

**Химсостав сталей, применяемых при производстве элементов КП
(например, бандажей)**

Марка стали	Массовая доля элементов, %						
	C, углерод	Mn, марганец	Si, кремний	Cr, хром	V, ванадий	P, фосфор	S, сера
					Не более		
2	0,57 - 0,65	0,60 - 0,90	0,22 - 0,45	Не более 0,20	0,15	0,030	0,020
4	0,65 - 0,75			0,20 - 0,60			
Допускаемая массовая доля (примечания):							
1. Мо, молибдена – ≤ 0,08%, Ni, никеля – ≤ 0,25%, Cu, меди – ≤ 0,30%.							
2. Σ-ая – доля S и P – ≤ 0,040%.							
3. В стали марки 4 Σ-ое содержание Cr, и Ni должно быть – ≥ 0,30%.							
4. C $\frac{+0,030}{-0,020}$, Mn $\frac{+0,050}{-0,030}$, Si $\frac{+0,030}{-0,020}$, Cr +0,02, V +0,01, P +0,005, S +0,005 – в бандажах допускаются предельные отклонения химсостава от указанного в таблице, в процентах по массовой доле							

Один из распространенных и экологичных [12, 13] методов упрочнения бандажей – нагрев бандажей до определенной температуры и последующее быстрое охлаждение, известное как закалка. Закалка позволяет повысить твердость и прочность материала, что в свою очередь улучшает его способность выдерживать нагрузки и сопротивляться износу. Рассмотрим способы закалки бандажей при помощи лазерного и плазменного методов.

Упрочнение бандажей КП с использованием лазера – современный и эффективный метод, применяемый для повышения прочности и износостойкости КП железнодорожных транспортных средств. Процесс упрочнения бандажей КП лазером включает использование высокоэнергетического лазерного излучения для нагрева определенных участков бандажей. Бандажи обрабатываются лазером с высокой точностью, что позволяет контролировать глубину прогрева и окончательные свойства материала. Во время облучения бандажей лазером, поглощение энергии лазерного излучения вызывает поверхностное плавление и быстрое охлаждение, что приводит к упрочнению материала. Происходят микроструктурные изменения, в результате чего повышается твердость, прочность и износостойкость бандажей. Механизм лазерной поверхностной закалки сталей без оплавления поверхности включает в себя выполнение следующих физических процессов: нагрев поверхностного слоя, фазовое ($\alpha \rightarrow \gamma$) превращение, т.е. аустенизацию, частичную гомогенизацию аустенита, быстрое охлаждение поверхностного слоя. В связи с тем, что при лазерном термоупрочнении процессы гомогенизации аустенита не успевают полностью завершиться, распределение углерода в аустените неравномерное. Поэтому превращение малоуглеродистого аустенита будет сопровождаться образованием преимущественно мелкоигольчатого мартенсита, а с ростом концентрации углерода – пластинчатого мартенсита. При лазерной закалке значительное повышение скорости нагрева и охлаждения не приводит к образованию новых фаз и структур. При этом большая скорость охлаждения приводит к тому, что после охлаждения образуются более высокодисперсные структуры, образующийся при этом мартенсит более дисперсный, чем при объемной закалке. Таким образом, в результате лазерного термоупрочнения в поверхностном слое образуется мелкозернистая закаленная структура значительной твердости и износостойкости [2].

Технология лазерного упрочнения поверхности катания КП: - установить КП в устройство вращения; - заматировать поверхность, подлежащую обработке, исключая возможность отражения лазерного луча; - выполнить калибровку фокусирующей системы таким образом, чтобы диаметр пятна лазерного излучения соответствовал выбранному

режиму; - задать рабочие параметры с помощью программно-управляемого устройства необходимые скорости вращения КП, шаг перемещения лазерного луча, траектория перемещения; - убедиться в подаче сжатого воздуха для сдува факела продуктов горения; - обработать поверхность КП на выбранных режимах [3]. Обработанная поверхность катания и гребень КП (см. рис. 1).

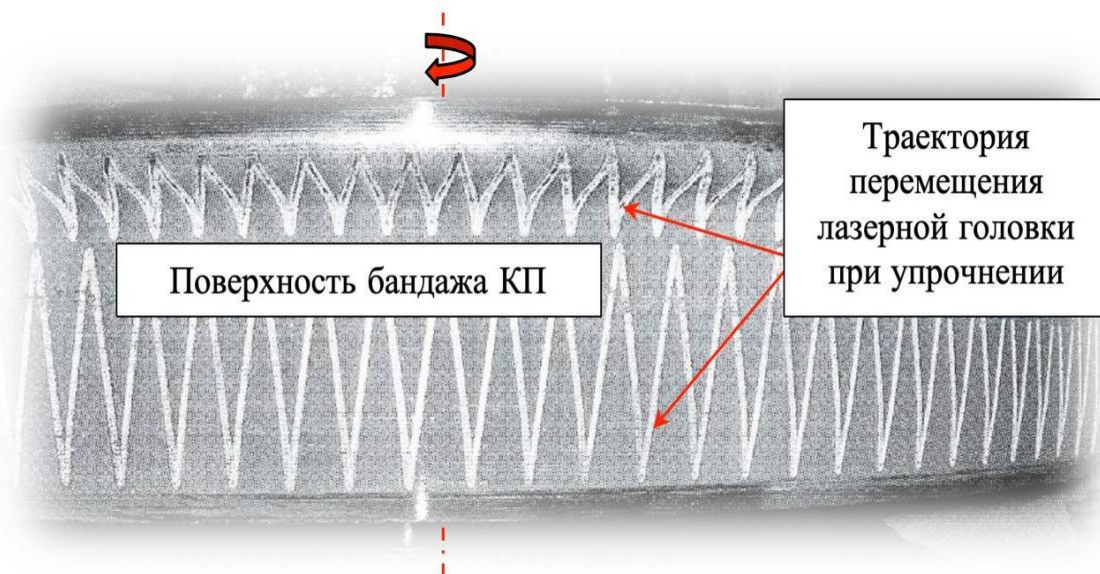


Рис. 1. Обработанный бандаж КП:

* – упрочнение производится без взаимного перекрытия дорожек лазерного упрочнения

Одним из основных преимуществ упрочнения бандажей КП лазером является его точность и практически отсутствующие деформации [4–7]. Точечное воздействие лазера позволяет осуществлять упрочнение на выбранных участках бандажей, минимизируя эффект на соседние области. Это особенно важно для предотвращения пористости или деформаций, которые могут возникнуть при других методах упрочнения. Другим преимуществом является возможность управления глубиной упрочнения. С помощью настройки энергии лазера можно контролировать проникновение в материал и достигать оптимальных свойств на поверхностном или более глубоком уровне. Это позволяет адаптировать процесс упрочнения под конкретные требования и условия эксплуатации.

Важно отметить, что упрочнение бандажей КП лазером требует специального оборудования и квалифицированного персонала для выполнения обработки. Процесс регламентирован требованиями нормативной документации и производственной технологией, что позволяет обеспечить соблюдение определенных параметров и повторяемость операций, достигнув стабильности процесса и обеспечив оптимальные результаты по упрочнению КП. Все вместе, упрочнение бандажей КП лазером является передовым и эффективным методом, который помогает улучшить прочностные и износостойкие характеристики бандажей. Это способствует повышению надежности и безопасности ЖД транспорта.

Упрочнение бандажей КП плазмой является одним из современных традиционных методов повышения прочности и износостойкости КП на железнодорожных транспортных средствах. Процесс упрочнения бандажей КП плазмой основан на использовании плазменного потока, который создаётся в специальном плазмотроне. Плазмотрон генерирует высокотемпературную плазму, состоящую из ионизированных газовых молекул и атомов. Во время обработки, плазмотрон направляется на поверхность бандажа, создавая высокотемпературное окружение. Под воздействием плазменного потока происходят интенсивные тепловые и физико-химические процессы в материале бандажа. В результате

происходит поверхностное плавление и быстрое охлаждение бандажа. Это приводит к упрочнению материала, улучшению его структуры и свойств. В частности, упрочнение данным методом позволяет повысить твёрдость, прочность и износостойкость бандажей. Поперечный шлиф колеса, упрочненного плазменным методом (см. рис. 2).

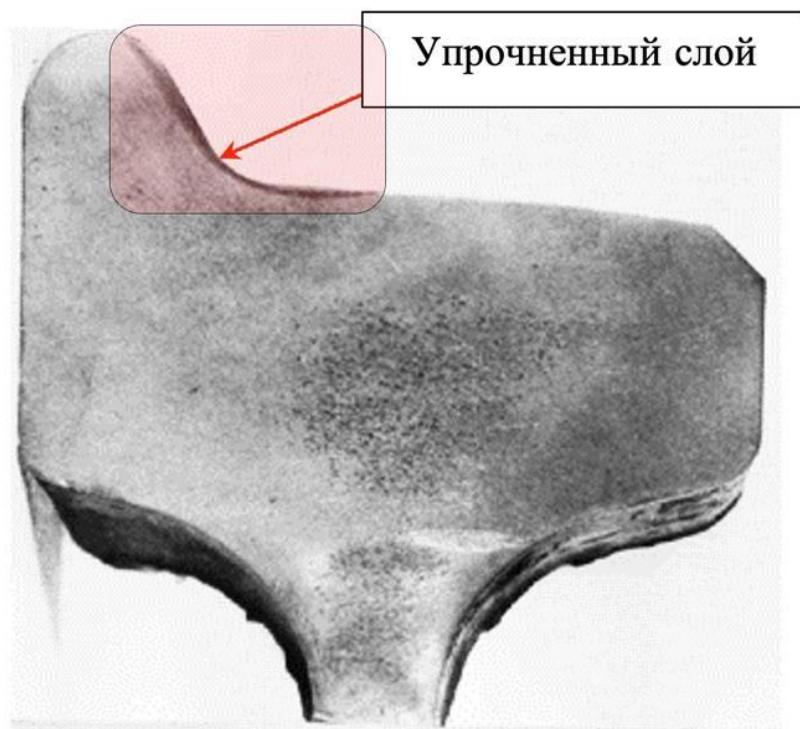


Рис. 2. Поперечный шлиф колеса, упрочненного плазменным методом

Термоупрочненная зона имеет вид непрерывной полосы шириной до 70 мм, заходящая на поверхность катания и гребня до 35 мм. Максимальная толщина упрочненного слоя – 5 мм. Выделяют пять участков термоупрочненного и переходных слоев с различным типом микроструктуры:

1. Аустенитный поверхностный слой с аустенитной структурой, шириной $\leq 20,0$ мкм (см. рис. 3а) прочно связан с металлом колеса, не отслаиваясь. Прорастание игл «фермообразного» мартенсита наблюдается вглубь этого слоя. Твердость его является меньшей, чем у игольчатой структуры прилегающего слоя. Точное значение микротвердости невозможно определить из-за малой его толщины. Электронно-микроскопическое исследование выявило наличие в этом слое нитридных фаз, образовавшихся из-за насыщения азотом поверхностных слоев металла, которая является особенностью технологии плазменной обработки. Кроме этого, вблизи поверхности имеется слой аустенита, позволяющий констатировать, что в поверхностном слое может достигать содержание азота в диапазоне от 1.5 до 2.0% веса.

2. Слой «пакетного» мартенсита с низкоопущенной микротвердостью $H_{\mu} 0,981 = 500 - 740 \text{ Н/мм}^2$ (см. рис. 3б). Его ширина составляет 0,1 мм. Такая тонкая структура данного слоя включает в себя две составляющие – двойникованные пластины и более тонкие рейки мартенсита. Внутри двойникованных кристаллов мартенсита наблюдаются дисперсные частицы карбидов размером 50 - 100 мкм.

3. Область промежуточной неоднородной структуры, которая представляет смесь участков троостомартенсита с $H_{\mu} 0,981 = 420 \text{ Н/мм}^2$ и мартенсита с $H_{\mu} 0,981 = 610 \text{ Н/мм}^2$. Ширина данного слоя составляет также до 0,1 мм.

4. Промежуточная структура троостосорбита с $H_{\mu} 0,981 = 300 - 390 \text{ Н/мм}^2$ шириной до 1,0 мм плавно переходящая к основному металлу (см. рис. 3в).

5. Структура основного металла колеса – сорбит отпуска с ферритом по границам зерен ($H_{\mu} 0,981 = 300 - 320 \text{ Н/мм}^2$). Ширина этого слоя достигает 7,0 мм (см. рис. 3г).

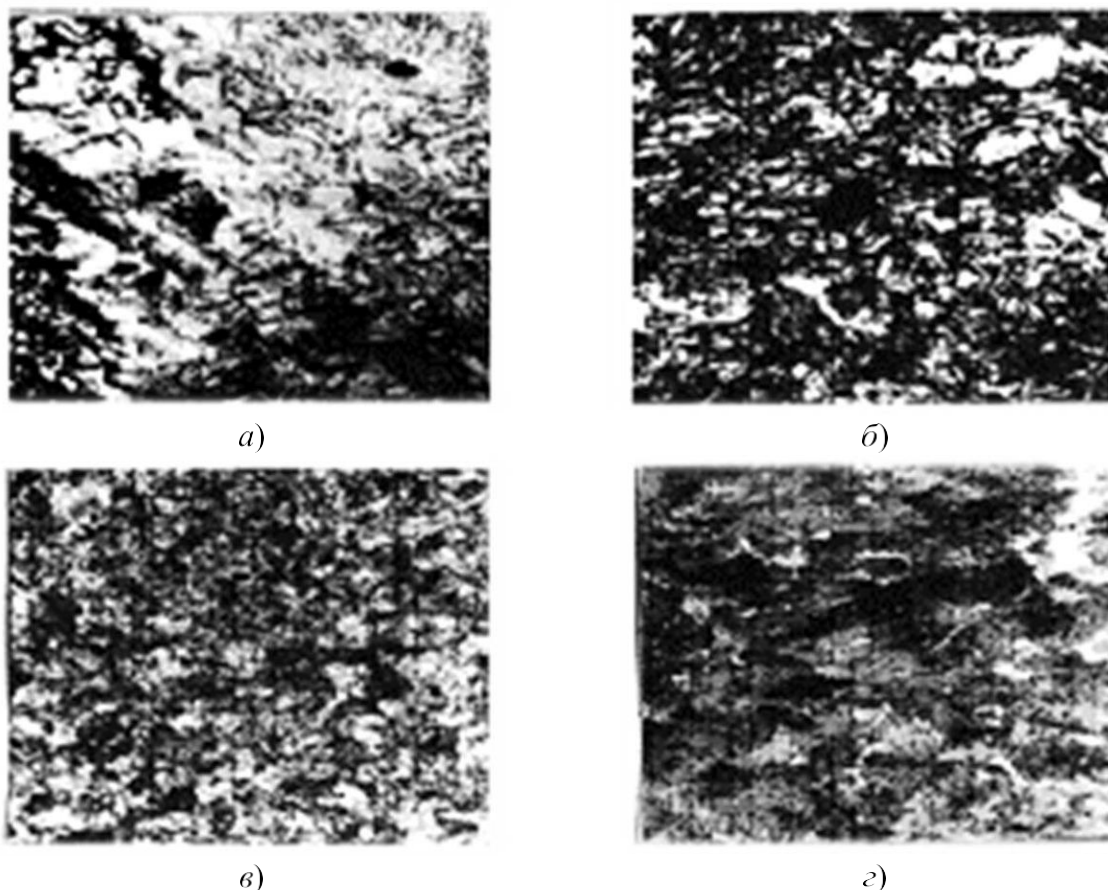


Рис. 3. Изменение микроструктуры с увеличением толщины термоупрочненного слоя: а) на толщине до 20,0 мкм; б) 0,1 мм; в) 1,0 мм; г) 7,0 мм (увеличение в 500 раз)

Плазменный метод упрочнения бандажей КП позволяет получить плавный переход от закаленных структур к структурам основного металла колеса, обеспечивая более высокую прочность сцепления – слоев с основным металлом [8 – 11].

Упрочнение бандажей КП плазмой требует специализированного оборудования и квалифицированного персонала для выполнения процесса. Также необходимо соблюдать определенные стандарты и рекомендации, чтобы обеспечить безопасность и качество обработки. В целом, упрочнение бандажей КП плазменным методом является современным и эффективным, позволяющим повысить их прочность и износостойкость. Это способствует улучшению надёжности и долговечности КП на ЖД транспорте [14, 15].

Контроль качества и испытания также играют важную роль при упрочнении бандажей. После проведения процедур упрочнения, бандажи подвергаются различным проверкам, чтобы убедиться в их соответствии требованиям стандартов безопасности и техническим характеристикам.

Общий результат упрочнения бандажей КП – улучшение их прочностных характеристик и повышение их срока службы. Это в свою очередь способствует безопасной и надежной эксплуатации железнодорожных поездов.

Библиографический список

1. ГОСТ 398-2010. Бандажи черновые для железнодорожного подвижного состава. Технические условия. Введ. 01.09.2011. – 10 с.
2. Н. Н. Евтихеев, О. Ф. Очин, И. А. Бегунов. Лазерные технологии – 2-е испр. изд. – Долгопрудный: Издательский Дом «Интеллект», 2022. – 240 с., цв. ил.
3. Способ лазерной обработки поверхности катания и гребня железнодорожных колесных пар [Текст]: пат. 2389805 Рос. федерация: МПК C21D 9/34, C21D 1/09, B23K 26/18, B23K 26/16 // Тимакова Е. А., Чкалов Л. А., Шестернин И. М., Бакланов Ф. И.; патентообладатель Открытое акционерное общество «Российские железные дороги» – 2008145842/02; заявл. 21.11.2008; опубл. 20.05.2010, Бюл. №14
4. **Степанова, Т. Ю.** Технологии поверхностного упрочнения деталей машин: учебное пособие // Т. Ю. Степанова; Иван. гос. хим.-технол. ун-т. – Иваново, 2009. – 64 с. – ISBN – 5-9616-0315-4.
5. Лазерное упрочнение технологического инструмента обработки металлов давлением: моногр. // Н. А. Чиченев, С. А. Иванов, С. М. Горбатюк, А. Н. Веремеевич. – М.: Изд. Дом МИСиС, 2013. – 166 с. ISBN 978-5-87623-664-7.
6. Индукционная и лазерная термическая обработка стальных изделий: учебное пособие // М. В. Майсурадзе, М. А. Рыжков, О. Ю. Корниенко, С. И. Степанов; М-во науки и высшего образования РФ. – Екатеринбург: Изд-во Урал ун-та, 2022. – 92 с. ISBN 978-5-7996-3544-2.
7. **Горский, А. В.** Лазер сделает колеса прочными / А. В. Горский // Локомотив. – 1998. №5. – С. 30–31.
8. Совершенствование технологии ремонта колесных пар в депо Рыбное. Режим обращения: https://studbooks.net/2388311/tehnika/sovershenstvovanie_tehnologii_remonta_kolesnyh_par_lokomotivov_v_depo_rybnoe (Дата обращения 10.12.2023).
9. **Поляченко, А. В.** Упрочнение колесных пар и других деталей твердыми сплавами / А. В. Поляченко // Локомотив. – 1998. – №9. – С. 26–28.
10. Канаев, А. Т. Структурообразование в гребнях колесных пар при упрочнении плазменной закалкой / Канаев А. Т., Богомолов А. В., Кусаинова К. Т., Жусин Б. Т. // труды Междунар. конф. «Форсированное индустриально-инновационное развитие в металлургии». Алматы: КазНТУ, 2010. С. 139–142.
11. **Финоченко, В. А.** Анализ экозащитных технологий на станциях реостатных испытаний локомотивных депо // Вестник РГУПС. – Ростов н/Д: №2(86), 2022. – С. 42–47.
12. **Финоченко, В. А.** Технологии защиты окружающей среды от воздействий железнодорожного транспорта / В. А. Финоченко, Т. А. Финоченко // Труды РГУПС. – Ростов н/Д: №1(54), 2021. – С. 62–64.
13. **Финоченко, В. А.** Инженерная экология // Г. Н. Соколова, В. А. Финоченко, Т. А. Финоченко. – Ростов-на-Дону: ФГБОУ ВО РГУПС, 2019. – 164 с.
14. **Яицков, И. А.** Повышение эффективности торможения локомотивов: специальность 05.22.07 "Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Яицков Иван Анатольевич. – Ростов-на-Дону, 2003. – 233 с. – EDN NMKGOL.
15. **Хатламаджиян, А. Е.** Применение современных цифровых технологий и технических средств для повышения безопасности и эффективности перевозочного процесса подвижного состава / А. Е. Хатламаджиян, И. А. Яицков, И. А. Степин // Труды Ростовского государственного университета путей сообщения. – 2020. – № 1(50). – С. 107-110. – EDN ZHTQMS.

R. H. Rafikov, A. S. Shinkaruk, A. A. Kulkov, N. A Goryunov

STRENGTHENING OF WHEELSET BANDAGES OF LOCOMOTIVES AND MOTOR CAR ROLLING STOCK

Abstract. In railway transport, special attention is paid to the problem of ensuring transportation safety, as well as reducing the cost of servicing rolling stock. One of the solutions to this problem is to ensure the strength of the bandage part of the traction rolling stock, namely, strengthening the bandage of the wheelset.

Keywords: traction rolling stock, brace, wheelset, laser hardening, reliability.

For citation: Rafikov, R. H. Strengthening of wheelset bands of locomotives and motor car rolling stock / R. H. Rafikov, A. S. Shinkaruk, A. A. Kulkov, N. A Goryunov // Trudy Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putej soobshcheniya. – 2024. – № 1. – P. 42–48.

Сведения об авторах

Рафиков Рафик Хайдарович

Дирекция проектов развития АНО
«Инновационный инжиниринговый
центр»,
кандидат технических наук,
руководитель проектов транспортного
машиностроения,
e-mail: rafis-89@mail.ru

Шинкарук Андрей Сергеевич

АО «Федеральная пассажирская
компания»,
кандидат технических наук,
главный ревизор,
e-mail: shinkarukas@mail.ru

Кульков Анатолий Александрович

Российский университет транспорта
(РУТ),
кафедры «Технология транспортного
машиностроения и ремонта подвижного
состава»,
кандидат технических наук,
доцент,
e-mail: pow12@mail.ru

Information about the authors

Rafikov Rafik Khaidarovich

Directorate of Development Projects of the
ANO «Innovative Engineering Center»,
Candidate of Technical Sciences,
Project Manager of Transport Engineering,
e-mail: rafis-89@mail.ru

Shinkaruk Andrey Sergeevich

JSC «Federal Passenger Company»,
Candidate of Technical Sciences,
Chief Auditor,
e-mail: shinkarukas@mail.ru

Kulkov Anatoly Alexandrovich

Russian Transport University (RTU),
Chair «Technology of Transport Engineering
and Repair of Rolling Stock»,
Candidate of Technical Sciences,
Associate Professor,
e-mail: pow12@mail.ru