

TRANSPORT

Научная статья
УДК 658.563
doi:10.52170/1815-9265_2026_79_5

Использование аддитивных технологий для обеспечения измерительного контроля геометрических параметров деталей и узлов подвижного состава

Алексей Леондович Бобров^{1✉}, Роман Денисович Белобров²

^{1, 2} Сибирский государственный университет путей сообщения, Новосибирск Россия

¹ acndt@mail.ru✉

² belobrov41@gmail.com

Аннотация. В практике контроля технического состояния деталей и узлов подвижного состава в процессе эксплуатации и ремонта важное значение имеет своевременное определение отклонений геометрических размеров ответственных элементов тележки, автосцепного устройства и других узлов, которое осуществляется с помощью специализированных шаблонов и калибров. В статье рассмотрены возможности замены дорогостоящих металлических шаблонов шаблонами из полимерного материала, которые значительно легче и дешевле в производстве. Актуальность замены определяется достаточно большим количеством необходимых средств измерения такого типа и специалистов, которые используют эти шаблоны и калибры в процессе ремонта и обслуживания подвижного состава железных дорог, в том числе в полевых условиях.

В статье проанализированы различные шаблоны для определения параметров узлов подвижного состава и определены те из них, которые возможно заменить на более легкие и дешевые. Часть таких шаблонов, достаточно простых и не имеющих подвижных частей, целесообразно в порядке эксперимента заменить на шаблоны из полимерного материала, изготовленные методом 3D-печати. В работе приведены данные по изготовлению таких шаблонов из разных полимерных материалов. Наиболее пригодным для этого материалом стал PETG-пластик, для которого определены оптимальные параметры и условия его печати. Эксплуатация этих средств измерения в течение года показала, что они более удобны при использовании, их метрологические характеристики аналогичны характеристикам металлических шаблонов.

Ключевые слова: аддитивные технологии, измерения, пластик, подвижной состав, размеры деталей, ремонт, шаблон

Для цитирования: Бобров А. Л., Белобров Р. Д. Использование аддитивных технологий для обеспечения измерительного контроля геометрических параметров деталей и узлов подвижного состава // Вестник Сибирского государственного университета путей сообщения. 2026. № 2 (79). С. 5–12. DOI 10.52170/1815-9265_2026_79_5.

TRANSPORT

Original article

Using additive technologies to ensure measurement control of geometric parameters of parts and assemblies of rolling stock

Aleksey L. Bobrov^{1✉}, Roman D. Belobrov²

^{1, 2} Siberian Transport University, Novosibirsk, Russia

¹ acndt@mail.ru✉

² belobrov41@gmail.com

Abstract. In the practice of monitoring the technical condition of rolling stock components and assemblies during operation and repair, timely determination of geometric deviations in critical bogie components, automatic coupling devices, and other assemblies is essential. This determination is accomplished using specialized templates and gauges. This article examines the possibility of replacing expensive metal templates with polymer templates, which are significantly less expensive to produce. The relevance of such a replacement is explained by the relatively large number of required measuring instruments of this type and the number of specialists who need to use these templates and gauges during the repair and maintenance of railway rolling stock. The need for a single worker to use a wide range of templates in the field necessitates the search for lighter, easier-to-use alternatives to heavy steel templates.

This article analyzes various templates for determining rolling stock component parameters and identifies those that can be replaced with lighter and less expensive ones. Some of these templates, which are relatively simple and lack moving parts, could be experimentally replaced with a polymer material produced using 3D printing. The paper presents data on the production of such templates from various polymeric materials, as well as the specifics of manufacturing templates from different polymeric materials. PETG-plastic proved to be the most suitable material for template production, for which the article provides optimal parameters and printing conditions. A year of use of these measuring instruments demonstrated that they are more convenient to use, and their metrological characteristics are similar to those of metal templates.

Keywords: additive technologies, measurements, plastic, rolling stock, part sizes, repair, template

For citation: Bobrov A. L., Belobrov R. D. Using additive technologies to ensure measurement control of geometric parameters of parts and assemblies of rolling stock. *The Siberian Transport University Bulletin*. 2026;(79):5–12. (In Russ.). DOI 10.52170/1815-9265_2026_79_5.

Введение

Одним из основных процессов, обеспечивающих качество ремонта подвижного состава на вагоноремонтных и локомотиворемонтных предприятиях, является измерение геометрических параметров деталей и узлов. Важность качественного проведения этих измерений трудно переоценить: своевременное определение несоответствий сказывается на надежности работы всех механических узлов подвижного состава в межремонтный период. Однако эти измерения до сих пор проводятся специалистами самостоятельно и вручную. Поэтому возможные направления оптимизации процессов измерения геометрических размеров деталей, зазоров и иных расстояний в узлах подвижного состава актуальны и востребованы. Другой стороной этого вопроса является повышение эффективности измерений при аналогичных или меньших затратах на них [1, 2]. Для этого производится обмен опытом с другими компаниями, но также применяются идеи работников компании [3]. Существует довольно большое количество способов оптимизировать процессы ремонта и его логистики непосредственно на предприятиях, например:

- проекты бережливого производства, с помощью которых в структурных ремонтных подразделениях предлагаются изменения в процессах выполняемых работ, направленные на сокращение затрат [4];
- система поощрения рационализаторских предложений, эффективность которых приводится в работе [5];

- логистические методы встраивания технологий ремонта новых типов деталей и узлов [6];
- разработка новых средств ремонта, контроля и диагностики деталей и встраивание их в процесс ремонта [7];
- поиск оптимальных производственных решений по результатам анализа моделирования ремонтных процессов [8].

Материалы и методы исследований

Одной из ключевых проблем обеспечения качества ремонта подвижного состава является своевременное, качественное, простое и быстрое определение соответствия геометрических размеров нормативным с помощью шаблонов, калибров и иных средств измерения. В табл. 1 приведено число средств контроля соответствия геометрических размеров при разных видах ремонта и техническом обслуживании некоторых узлов подвижного состава, при этом учтены средства измерения для наиболее распространенных типов узлов и деталей. Так, например, данные по средствам измерения параметров колесных пар электропоездов учитывают только специализированные шаблоны для измерения основных параметров, применимые для всех типов электропоездов, и не включают шаблоны для отдельных типов электропоездов.

Достаточно большая номенклатура средств измерения геометрических параметров деталей и узлов подвижного состава и относительно небольшое количество предприятий по ремонту подвижного состава (менее 500 предприятий, их филиалов и обособленных подразделений) имеют следствием существенные недостатки, такие как:

Таблица 1

Средства измерения геометрических параметров деталей подвижного состава

Узел	Кол-во шаблонов, калибров и т. п.	Кол-во модификаций
Автосцепное устройство	43	19
Тележка грузового вагона	26	3
Колесная пара грузового вагона	14	–
Колесная пара электропоезда	28	3

– высокая стоимость отдельных шаблонов и калибров, характерная для единичного и мелкосерийного производства;

– высокая стоимость поддержания работоспособного состояния шаблонов и калибров, требующая единичного ремонта и регулярного метрологического обеспечения в виде поверок или калибровок;

– временные потери, связанные с несовершенством технологических цепочек ремонта отдельных деталей и узлов на линейных ремонтных предприятиях.

Дополнительным недостатком является достаточно большой процент выхода из строя рассматриваемых средств измерений. В табл. 2 приведены сведения о количестве некоторых шаблонов, наиболее часто отбраковываемых в ходе периодической ежегодной ревизии и калибровки в Западно-Сибирском центре метрологии. В конце таблицы для сравнения приведены абсолютный шаблон Т416.38.000СБ (№ 873) и шаблон Т914.19.000, доля отбраковки которых при поверке близка к средним значениям для различных типов шаблонов. Характерной особенностью подавляющего большинства шаблонов является их неремонтопригодность, т. е. такие шаблоны необходимо утилизировать и заменять новыми.

В среднем ежегодно эксплуатационные предприятия, занимающиеся текущим ремонтом вагоном в Западной Сибири, на закупку затрачивают от 2 до 3 млн р. в зависимости от износа средств измерений, находящихся на балансе, в том числе на закупку нового типа средств измерений. И найти альтернативу таким достаточно простым, но специализированным средствам измерения нелегко.

Анализ инновационных подходов к решению описанной проблемы показал, что наиболее перспективными направлениями оптимиза-

ции расходов, связанных с материальной поддержкой метрологического обеспечения ремонта подвижного состава, являются:

– удешевление производства шаблонов за счет использования более дешевых материалов и технологий изготовления, например аддитивных;

– принципиальное изменение подхода к процессу измерения, например использование оптических методов измерения с формированием профиля деталей в электронном формате и последующей корректировкой программы ремонта конкретного участка детали, обеспечивающей увеличение времени эксплуатации между ремонтами.

Использование аддитивных технологий для изготовления изделий, не испытывающих больших нагрузок, вполне возможно, что показано в некоторых работах [9, 10].

Современные автоматизированные и роботизированные технологии позволяют проводить измерения геометрических параметров поверхностей различной сложности изделий с повышенной точностью, высокой производительностью, обеспечивают внутренний контроль точности измерений (например, устройство, предложенное в патенте [11]). Более того, проводятся активные работы по внедрению таких методов в технологии контроля профиля ответственных деталей подвижного состава, таких как поверхность катания колеса [12], в том числе и расчетные работы по оценке состояния измеряемых поверхностей [13].

Очевидно, что решение проблемы повышения экономической эффективности процедур измерения многочисленных геометрических параметров деталей и узлов подвижного состава в ходе его ремонта не может быть простым в силу большого разнообразия измеряемых параметров, использования средств изме-

Таблица 2

Процентное отношение отбраковываемых при калибровке шаблонов в 2022–2024 гг. и средний срок службы шаблонов

Тип шаблона	Кол-во проверенных средств, шт.	Доля забракованных средств, %			Средний срок службы, лет
		2022 г.	2023 г.	2024 г.	
Шаблон Т447.05.000	850	10	11,1	9,2	9,9
Приспособление Т1436.000	150	13,3	12,0	10,7	8,3
Устройство Т1339.00.000СБ	50	24,0	16,0	8,0	6,3
Шаблон Т447.08.000	900	6,1	4,4	5,0	14,4
Шаблон Т416.38.000СБ (873)	450	2,7	5,1	2,2	20,0
Шаблон Т914.19.000	450	2,4	4,8	3,6	17,8

рения в различные временные отрезки, на разных пространственных позициях на предприятиях, а также по другим причинам.

Для сокращения затрат на закупку средств измерений было предложено на мощностях структурного подразделения изготавливать средства измерений из полимерных материалов с применением аддитивных технологий. Такой способ решения проблемы возможен для средств с невысокой точностью определения геометрических параметров или проходных и непроходных шаблонов. Основным достоинством такого подхода является то обстоятельство, что изготовление шаблонов из полимерных материалов может оказаться существенно дешевле создания металлических. То есть целесообразно использовать шаблоны, для которых соотношение сравнительной стоимости S_i и среднего времени эксплуатации k_i минимально. Например, при сравнении шаблонов, изготовленных разными способами или из различных материалов (1 и 2), с экономической точки зрения выбор за шаблоном, для которого выполняется условие

$$\frac{S}{k} = \min \left\{ \frac{S_1}{k_1}; \frac{S_2}{k_2} \right\}.$$

Однако при отсутствии реального опыта эксплуатации средства параметр k_i неизвестен, в этом случае только экспериментальное внедрение и эксплуатация такого шаблона позволяют оценить его эффективность.

На первом этапе работы по экспериментальному внедрению шаблонов из полимерных материалов, изготовленных методом 3D-печати, необходимо было определить, какой тип полимерных материалов следует применять.

Анализ возможности использования самого распространенного вида полимерного материала полилактида (PLA), как самого доступного пластика для 3D-принтера, показал, что при дальнейшем испытании он начинал деформироваться при высоких температурах окружающей среды, которые устанавливаются на ремонтных участках в летнее время. Кроме того, при механическом воздействии такой шаблон разрушается, а также на него отрицательно влияет ультрафиолетовое излучение. Указанные причины не допускали дальнейшего использования этого материала для изготовления шаблонов.

Экспериментальное использование акрилонитрилбутадиенстирола (ABS), второго по

частоте использования пластика для 3D-печати, показало хорошие прочностные характеристики, при дополнительных механических воздействиях материал не разрушался. Однако ABS-пластик имеет существенный недостаток – большую усадку при изготовлении, что делает невозможным создание шаблонов с необходимыми геометрическими допусками размеров и минимальной задаваемой для данных средств погрешностью измерения.

Наиболее качественные шаблоны были получены из полиэтилентерефталат-гликоля (PETG) – относительно нового материала по сравнению с приведенными выше. Этот материал лишен свойственных для PLA- и ABS-пластиков недостатков; PETG достаточно ударопрочный, а спекаемость слоев получается такой, что при ударной нагрузке готовые изделия обладают наибольшей прочностью.

Для печати на базе чертежных параметров шаблонов были созданы модели в программе «Компас-3D» (рис. 1).

Для опытной эксплуатации из PETG-пластика получены изделия при следующих параметрах печати:

- температура экструзии – 215...245 °C;
- температура стола – 20...80 °C;
- обдув – 20 %;
- межслойная адгезия – очень высокая;
- адгезия к столу – средняя;
- температура плавления – 222...225 °C;
- температура размягчения – 80 °C;
- точность печати – $\pm 0,1$ мм;
- фотополимерная печать с автоматической разбивкой по слоям;
- минимальная толщина слоя – 0,1 мм;
- усадки при изготовлении изделий нет.

Полученный материал обладает следующими свойствами:

- температура эксплуатации – от –40 до +70 °C;
- твердость (по Роквеллу) – R106;
- относительное удлинение при разрыве – 50 %;
- предел прочности на изгиб – 76,1 МПа;
- предел прочности на разрыв – 36,5 МПа;
- модуль упругости при растяжении – 2,6 ГПа;
- модуль упругости при изгибе – 1,12 ГПа;
- температура стеклования – 80 °C;
- плотность – 1,3 г/см³.

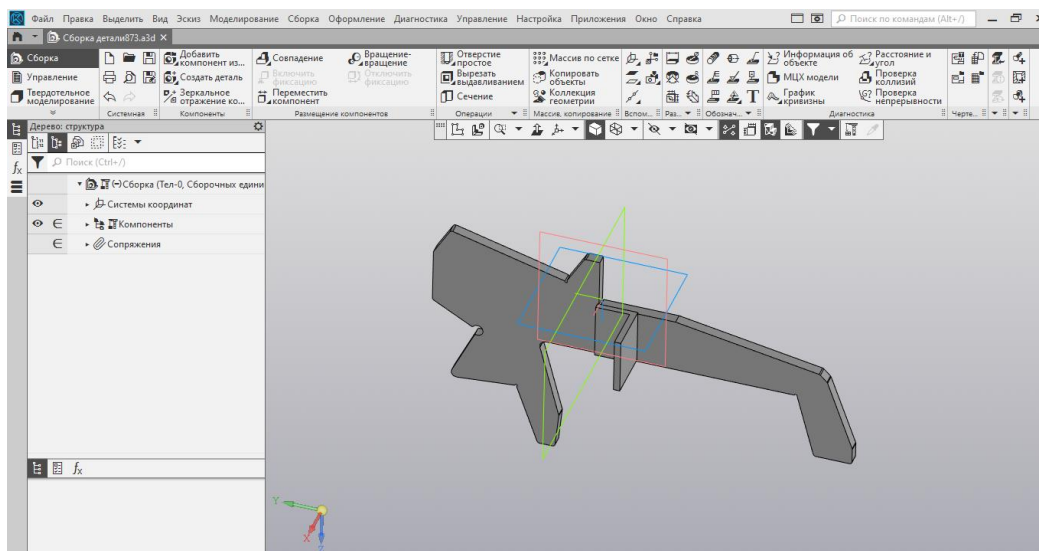


Рис. 1. 3D-модель шаблона 873

После изготовления поверхность шаблонов была зачищена наждачной бумагой P1000 для обеспечения требуемой шероховатости. Основные размеры полученного шаблона из PETG-пластика измерили с помощью штангенциркуля с ценой деления 0,05 мм. Все параметры, включая шероховатость, были в пределах допуска.

Результаты исследований

Главные достоинства материала PETG: отсутствие усадки, что обеспечивает высокую точность при изготовлении средств измерений; очень сильное спекание между слоями, а значит, высокая прочность; стойкость к ультрафиолету; широкий температурный диапазон.

Для изготовления опытных образцов были выбраны шаблоны измерения завышения фрикционного клина (модель T914.19.000) и шаблон 873 (рис. 2) для контроля размеров автосцепки (модель T416.38.000), так как они не имеют движущихся деталей, что позволило упростить их изготовление.

Затем образцы были отправлены на испытания для проверки работоспособности в условиях опытной эксплуатации и сравнения их с металлическими средствами измерений. В течение 14 дней средства измерений ежедневно эксплуатировались старшими осмотрщиками-ремонтниками вагонов, но измерения некоторых параметров производили основными средствами измерений, так как шаблон измерения завышения фрикционного клина (T914.19.000) и шаблон 873 (T416.38.000) были не откалиброваны.

При эксплуатации таких шаблонов из PETG-пластика за время опытной эксплуатации геометрические размеры не претерпели изменений, несмотря на гигроскопичность этого материала. Однако требуется дальнейшее наблюдение за изменениями гигроскопичности.

Сотрудники, эксплуатировавшие пластиковые средства измерений, отмечают следующие положительные свойства:

- такие шаблоны существенно облегчают сумку для проведения технического обслуживания подвижного состава;



Рис. 2. Шаблон 873, выполненный на 3D-принтере

– при измерениях легкие шаблоны более удобны;

– в холодное время при измерениях медленнее замерзают руки.

Эти обстоятельства улучшают условия труда работников. При параллельных измерениях металлическими шаблонами отклонений в результатах не отмечено.

На втором этапе для полного введения в эксплуатацию полимерных шаблонов были разработаны методики входного контроля, паспорта средств измерений и методика калибровки полимерных средств измерений. После испытаний был определен тип 3D-принтера, который будет печатать шаблоны с заданной точностью, затем следует их калибровка в Новосибирском центре метрологии и последующий ввод в эксплуатацию средств измерений.

В одном эксплуатационном вагонном депо количество сотрудников, использующих средства измерения, довольно большое. Например, в эксплуатационном вагонном депо Инская с шаблонами работают осмотрщики-ремонтники вагонов, осмотрщики вагонов, старшие осмотрщики-ремонтники, слесари подвижного состава, бригадиры и мастера участков, входящих в состав предприятия. Всего таких сотрудников по штату на момент изготовления шаблонов было 642 человека, поэтому, с учетом сменной работы, для обеспечения измерений необходимо минимум 162 шаблона. Дополнительно необходимо укомплектовать стенды на участках средствами измерений и поддерживать их неснижаемый запас, так как калибровка производится другим структурным подразделением, входящим в состав ОАО «РЖД».

ОАО «РЖД» в 2024 г. приобретение шаблона по измерению завышения фрикционного клина (Т914.19.000) обошлось в 5 436,99 р., а шаблона 873 (Т416.38.000) – в 8 196,56 р. Модели, распечатанные на 3D-принтере из PETG, обходятся в 1 850 р. С учетом того обстоятельства, что средний срок службы металлических шаблонов варьируется от 6 до 20 лет, оценка экономической эффективности по приведенной выше формуле позволяет заключить, что даже сокращение среднего срока службы для шаблонов измерения завышения фрикционного клина (шаблон Т914.19.000) в три раза или шаблона 873 (Т416.38.000) в четыре раза равноценно затратам на действующие металлические шаблоны. Кроме того, печать шаблонов на одном из

предприятий существенно сокращает накладные расходы и затраты времени на путь от производства до его непосредственного использования.

Выводы

Процедуры измерения геометрических размеров деталей и узлов подвижного состава на современном этапе развития техники целесообразно оптимизировать двумя путями:

– в ряде случаев снизить затраты возможно путем применения аддитивных технологий изготовления шаблонов;

– следует рассмотреть возможность организации измерений с использованием оптических систем, так как этот способ имеет широкие возможности автоматизации и обеспечивает обслуживание подвижного состава на высоком технологическом уровне.

Измерение геометрических параметров шаблонами моделей Т914.19.000 и Т416.38.000, изготовленными из PETG-пластика на 3D-принтере, в течение года показало, что они более удобны в эксплуатации из-за меньшего веса, а их метрологические характеристики аналогичны параметрам металлических шаблонов. Таким образом, предложение по изготовлению средств измерений из полимерных материалов позволяет улучшить условия труда работников и сократить траты на их изготовление и замену.

На следующем этапе для оценки экономического эффекта внедрения таких шаблонов следует определить средний срок эксплуатации таких средств измерений.

Необходимо проанализировать структуру процессов измерения геометрических параметров деталей при обслуживании и ремонте подвижного состава и определить перечень шаблонов, для которых целесообразно перейти на технологию изготовления из PETG-пластика на 3D-принтере.

Для оценки долговечности шаблонов из PETG-пластика разработана программа исследований, включающая анализ динамики изменения размеров в зависимости от воздействия влажного воздуха и общей их долговечности с учетом износа. Следует отметить, что PETG-пластик имеет существенный недостаток: он гигроскопичен, поэтому требуется пристальное внимание к возможным изменениям геометрических размеров шаблонов из этого материала в процессе дальнейшей опытной эксплуатации.

Список источников

1. Моделирование и оптимизация системы ремонта вагонов / А. В. Зяблов, С. В. Беспалько, П. С. Григорьев, Ю. А. Кузнецова // Железнодорожный транспорт. 2021. № 2. С. 64–66.
2. Аскарлов Р. Р., Кашковский В. В., Тихий И. И. Оптимизация системы технической эксплуатации грузового вагонного состава при организации интенсивных сквозных маршрутных перевозок // Молодая наука Сибири. 2020. № 4 (10). С. 186–197.
3. Глухов С. В., Кованин М. А., Шосткин С. В. Оптимизация технического обслуживания и ремонта моторвагонного подвижного состава // Железнодорожный транспорт. 2013. № 7. С. 60–61.
4. Протасова А. Д., Жебанов А. В. Применение элементов бережливого производства с целью оптимизации организации работы участка по текущему ремонту грузовых вагонов // Наука, образование, транспорт: актуальные вопросы, приоритеты, векторы взаимодействия : материалы II Международной научно-методической конференции : в 3 частях. Оренбург : Самарский государственный университет путей сообщения, 2023. С. 138–142.
5. Ярушкіна Н. А., Матюгіна Э. Г. Прогнозирование инновационной активности компании на основе индикаторов инновационного потенциала персонала // Вестник Астраханского государственного технического университета. Серия: Экономика. 2021. № 3. С. 67–76.
6. Бубнов В. М., Кебал И. Ю., Манкевич Н. Б. Совершенствование технологии ремонта специализированных грузовых вагонов // Наука та прогресс транспорту. 2016. № 1 (61). С. 62–70.
7. Самойлова Е. В., Черток Е. В. Новые системы для обслуживания, эксплуатации, изготовления и ремонта вагонов, локомотивов, а также эскалаторов метрополитенов // Известия Петербургского университета путей сообщения. 2009. № 3 (20). С. 220–223.
8. Школина Д. И., Ададунов А. С., Бехер С. А. Оптимизация ресурсов распределенных производственных процессов с использованием имитационного моделирования // Мир транспорта. 2022. Т. 20, № 6 (103). С. 56–63.
9. Дешковский В. Н., Рожко А. А. Практическое применение аддитивных технологий в геомеханике // Маркшейдерский вестник. 2024. № 1. С. 54–57.
10. Базров Б. М., Хейфец М. Л. Совершенствование основ теории базирования с учетом развития традиционных и аддитивных технологий // Доклады Национальной академии наук Беларуси. 2020. Т. 64, № 5. С. 617–623.
11. Патент 2825540 Российская Федерация, МПК G 01 B 11/03. Устройство для многоточечного контроля геометрии сложного профиля : № 2024117583 : заявл. 26.06.2024 : опубл. 27.08.2024 / Кудашов Е. В., Жидяев А. Н., Рузанов Н. В.
12. Лексутов И. С., Ключа В. П. К возможности применения линейного сканера для создания средств технического контроля геометрических параметров продольного сечения поверхности катания колеса вагона // Известия Транссиба. 2022. № 3 (51). С. 51–63.
13. Разработка перспективного алгоритма расчета и оценки геометрических параметров колесной пары в комплексе КОНЛОК / А. С. Ададунов, И. Ю. Савельев, М. А. Чепулис, К. Г. Аринушкина // Вестник Научно-исследовательского института железнодорожного транспорта. 2023. Т. 82, № 3. С. 247–256.

References

1. Zyablov A. V., Bsepalko S. V., Grigoriev P. S., Kuznetsova Yu. A. Modeling and optimization of the wagon repair system. *Railway Transport*. 2021;(2):64–66. (In Russ.).
2. Askarov R. R., Kashkowsky V. V., Tichiy I. I. Optimization of the system of technical operation of the freight wagon staff in organization of intensive through-route transportation. *Young Science of Siberia*. 2020;(10):186–197. (In Russ.).
3. Glukhov S. V., Kovanin M. A., Shostkin S. V. Optimization of maintenance and repair of motor-car rolling stock. *Railway Transport*. 2013;(7):60–61. (In Russ.).
4. Protasov A. D., Zhebanov A. V. The use of lean manufacturing elements in order to optimize the organization of the work of the site for the current repair of freight cars. *Science, Education, Transport: Current Issues, Priorities, Vectors of Interaction. Proceedings of II the Scientific Conference*. Orenburg; 2023. P. 138–142. (In Russ.).
5. Yarushkina N. A., Matyugina E. G. Forecasting business innovative activity using indicators of innovative potential of personnel. *Vestnik of Astrakhan State Technical University. Series: Economics*. 2021; (3):67–76. (In Russ.).
6. Bubnov V. M., Kebal I. Yu., Mankevych M. B. Repair technology improvement of specialized freight cars. *Science and Transport Progress*. 2016;(61):62–70. (In Russ.).
7. Samoilova E. V., Chertok E. V. New systems for the maintenance, operation, manufacture and repair of wagons, locomotives, and subway escalators. *Proceedings of Petersburg Transport University*. 2009;(20):220–223. (In Russ.).

8. Shkolina D. I., Adadurov A. S., Bekher S. A. Resource optimization of distributed manufacturing processes using simulation. *World of Transport and Transportation*. 2022;20(103):56–63. (In Russ.).
9. Deshkovsky V. N., Rozhko A. A. Practical application of additive manufacturing in geomechanics. *Mine Surveying Bulletin*. 2024;(1):54–57. (In Russ.).
10. Bazrov B. M., Kheifetz M. L. Improvement bases of the theory basing with account for the development of traditional and additive technologies. *Papers of the National Academy of Sciences of Belarus*. 2020;64(5):617–623. (In Russ.).
11. Patent 2825540 RF. Int. Cl. G 01 B 11/03. Device for multi-point control of geometry of complex profile. Kudashov E. V., Zhidyaev A. N., Ruzanov N. V. No. 2024117583; filed on 26.06.2024; published on 27.08.2024. (In Russ.).
12. Leksutov I. S., Klyuka V. P. To the possibility of using a linear scanner to create means of technical control of geometric parameters of the longitudinal section of the rolling surface of the railcar wheel. *Journal of Transsib Railway Studies*. 2022;3(51):51–63. (In Russ.).
13. Adadurov A. S., Savelev I. Yu, Chepulis M.A, Arinushkina K.G. Development of an advanced algorithm for calculating and assessing the wheel pair geometry in the conloc system. *Russian Railway Science Journal*. 2023;82(3):247–256. (In Russ.).

Информация об авторах

А. Л. Бобров – доктор технических наук, профессор кафедры «Физика, электротехника, диагностика и управление в технических системах» Сибирского государственного университета путей сообщения.

Р. Д. Белобров – аспирант кафедры «Физика, электротехника, диагностика и управление в технических системах» Сибирского государственного университета путей сообщения.

Information about the authors

A. L. Bobrov – Doctor of Engineering, Professor of the Physics, Electrical Engineering, Diagnostics, and Control in Technical Systems Department, Siberian Transport University.

R. D. Belobrov – Postgraduate of the Physics, Electrical Engineering, Diagnostics, and Control in Technical Systems Department, Siberian Transport University.

Статья поступила в редакцию 04.03.2026; одобрена после рецензирования 18.03.2026; принята к публикации 31.03.2026.

The article was submitted 04.03.2026; approved after reviewing 18.03.2026; accepted for publication 31.03.2026.