

## **Анализ влияния технического состояния песочных систем локомотивов на количество внеплановых ремонтов тягового подвижного состава и пути совершенствования их конструкции**

**С.В. Трескин**✉, **Е.Ю. Дульский**, **П.Ю. Иванов**, **А.В. Ромашов**

*Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация*

✉sergei.tresckin@yandex.ru

### **Резюме**

В статье отмечается важное значение железнодорожного транспорта в экономике Российской Федерации и обеспечении безопасности страны. Рассматривается проблема увеличения производительности железнодорожного транспорта, на решение которой могут повлиять повышение надежности тягового подвижного состава и снижение количества отказов в процессе его работы. Реализация мероприятий, направленных на сокращение числа отказов и времени простоя тягового подвижного состава, окажет благоприятное воздействие на функционирование железнодорожного транспорта путем повышения его производительности. Особенно важно отметить необходимость роста качественных показателей работы тягового подвижного состава. Большое значение среди этих показателей занимает участковая скорость. Она является одним из основополагающих параметров, определяющих перевозочную деятельность железнодорожного транспорта. Нарушения графика движения вызывают временные потери. Такие нарушения достаточно часто вызываются отказами подвижного состава. Качество графика движения характеризуется коэффициентом скорости, который зависит от соотношения участковой, технической и ходовой скоростей, а также от некоторых других факторов, в том числе и времени простоя подвижного состава. В работе приведены статистические данные по количеству «сходов с кольца» локомотивов на ст. Тайшет, рассмотрены типология причин «сходов с кольца» и алгоритм процессов при «сходе с кольца». Кроме того, указана статистика отказов элементов песочной системы электровозов парка Восточно-Сибирской железной дороги. Отмечено, что нерациональная подача песка из песочной системы локомотивов приводит к длительным простоям подвижного состава. Изучены песочные системы электровозов переменного тока парка Восточно-Сибирской железной дороги, их назначение, конструкция и принцип работы на примере песочной системы электровоза 2(3)ЭС5К «Ермак». Приведены способы управления подачей песка в песочной системе локомотивов, выявлены основные направления совершенствования систем пескоподдачи локомотивов и рассмотрены некоторые примеры их реализации. По результатам исследования сделан вывод о необходимости модернизации систем пескоподдачи локомотивов или их замены на альтернативные системы.

### **Ключевые слова**

тяговый подвижной состав, участковая скорость, коэффициент участковой скорости, сход с кольца, коэффициент сцепления, система пескоподдачи, расход песка, форсунка песочницы

### **Для цитирования**

Анализ влияния технического состояния песочных систем локомотивов на количество внеплановых ремонтов тягового подвижного состава и пути совершенствования их конструкции / С.В. Трескин, Е.Ю. Дульский, П.Ю. Иванов, А.В. Ромашов // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2023. № 3(79). С. 146–158. DOI 10.26731/1813-9108.2023.3(79).146-158.

### **Информация о статье**

поступила в редакцию: 04.09.2023 г.; поступила после рецензирования: 11.09.2023 г.; принята к публикации: 12.09.2023 г.

## **Analysis of the influence of the locomotive sand systems' technical condition upon the number of unplanned repairs of traction rolling stock and ways to improve their design**

**S.V. Treskin**✉, **E.Yu. Dul'skii**, **P.Yu. Ivanov**, **A.V. Romashov**

*Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation*

✉sergei.tresckin@yandex.ru

### **Abstract**

The article points out the important place of railway transport in the economy and ensuring the security of the Russian Federation. The problem of increasing the productivity of railway transport is considered. One of the solutions to this problem may be the increase in reliability and reduction of the number of traction rolling stock failures. The implementation of measures aimed at reducing the number of failures and downtime of traction rolling stock will have a beneficial effect on the

functioning of railway transport by increasing its productivity. It is especially important to note the need to improve the quality performance of traction rolling stock. Of great importance among the qualitative performance indicators of locomotives is the local speed. This indicator is one of the fundamental parameters that determine the transportation activity of railway transport. Violations of the traffic schedule cause temporary losses. These violations are quite often caused by failures of rolling stock. The quality of the traffic schedule is characterized by a speed coefficient, which depends on the ratio of local, technical and running speeds, as well as on some other factors, including the downtime of the rolling stock. The article presents statistical data on the number of «descents off the circle» of locomotives at the Taishet station. The cause typology of «descents off the circle» and the algorithm of the processes at the «descent off the circle» are given. The statistics of the sand system elements failures in electric locomotives of the East-Siberian railway fleet are indicated. It is noted that the irrational supply of sand from the sand system of locomotives leads to long downtime of rolling stock. The sand systems of AC electric locomotives of the East-Siberian railway fleet are considered. Their purpose is indicated, the design and principle of operation are considered on the example of the sand system of the electric locomotive 2(3) ES5K «Ermak». The methods of controlling the supply of sand in the sand system of locomotives are given. The main directions of improving the sand supply systems of locomotives are identified and some existing examples of their implementation are considered. The conclusion is made about the need to improve the sand supply systems of locomotives or replace them with alternative ones.

### Keywords

traction rolling stock, local speed, the coefficient of local speed, descent off the circle, coefficient of cohesion, sand feeding system, sand consumption, sandbox nozzle

### For citation

Treskin S.V., Dul'skii E.Yu., Ivanov P.Yu., Romashov A.V. Analiz vliyaniya tekhnicheskogo sostoyaniya pesochnykh sistem lokomotivov na kolichestvo vneplanovykh remontov tyagovogo podvizhnogo sostava i puti sovershenstvovaniya ikh konstruktсии [Analysis of the influence of the locomotive sand systems' technical condition upon the number of unplanned repairs of traction rolling stock and ways to improve their design]. *Sovremennye tekhnologii. Sistemyi analiz. Modelirovanie* [Modern Technologies. System Analysis. Modeling], 2023, no. 3(79), pp. 146–158. DOI: 10.26731/1813-9108.2023.3(79).146-158.

### Article info

Received: September 4, 2023; Revised: September 11, 2023; Accepted: September 12, 2023.

### Введение

На сегодняшний день железнодорожный транспорт является одним из важнейших компонентов экономической и военной безопасности Российской Федерации. С каждым годом растут требования к надежности этого вида транспорта. Остро стоит и вопрос улучшения систем обслуживания и ремонта в условиях эксплуатации. Существует необходимость повышения производительности железнодорожного транспорта. Возможными решениями перечисленных проблем являются повышение надежности подвижного состава, а также увеличение его тяговых и динамических характеристик. Проведение различных мероприятий по снижению отказов и времени простоя тягового подвижного состава на техническом обслуживании и ремонте будет способствовать росту эффективности функционирования железнодорожного транспорта. На данный момент указанные мероприятия являются достаточно востребованными.

Большое значение стоит придать повышению качественных показателей работы локомотивов. Один из данных показателей – участковая скорость движения поезда.

Участковую скорость относят к ключевым показателям оценки перевозочной деятельности железной дороги. Эта скорость является одним из основополагающих технико-экономических показателей, характеризующих качество организации движения на сети дорог. Данный показатель определяет среднюю скорость движения поездов между станциями смены локомотивных бригад и технического осмотра составов, на которых всеми грузовыми составами предусмотрены остановки. Такие показатели использования подвижного состава, как оборот тягового и нетягового подвижного состава, а также рабочий парк подвижного состава, необходимый для обеспечения заданного объема перевозок, зависят от участковой скорости.

Величина участковой скорости зависит не только от уровня технической и ходовой скоростей, но также и от потерь времени при производстве технических операций по обслуживанию и ремонту, вызванных остановками в пределах гарантийного участка [1, 2].

Временные потери являются следствием нарушения графика движения при его невыполнении отдельными сформированными поездами. Данные потери зависят в первую оче-

редь от технического состояния тягового и нетягового подвижного состава. Важный показатель, определяющий качество составленного графика движения, – коэффициент скорости, выражающийся в отношении участковой скорости к ходовой скорости или к технической скорости:

$$\beta_x = v_y / v_x, \beta_T = v_y / v_T,$$

где  $v_y$  – участковая скорость, км/ч;  $v_x$  – ходовая скорость, км/ч;  $v_T$  – техническая скорость, км/ч.

Более обширным образом качество построения графика движения характеризуется коэффициентом  $\beta_x$ , он наглядно отображает влияние на участковую скорость не только общей продолжительности стоянок поездов на промежуточных станциях, но и времени, необходимого для разгона и замедления, также находящегося в зависимости от количества стоянок и остановок поездов.

Целью данной статьи является изучение проблемы влияния технического состояния тягового подвижного состава на его качественные показатели работы. Она рассматривается на примере систем пескоподдачи локомотивов, так как тенденция к увеличению межремонтных пробегов подвижного состава выявила такое явление, как нерациональное использование песка в указанных системах. Сложившаяся ситуация ведет к увеличению времени простоев подвижного состава и, соответственно, к росту экономических потерь ОАО «РЖД». Необходимо рассмотреть возможные пути минимизации или устранения обозначенной проблемы.

### **Анализ статистики отказов оборудования системы пескоподдачи локомотивов**

Еще со времен широкого применения паровозов известны типичные причины отказов систем пескоподдачи. К ним относятся:

- полное или частичное засорение трубопроводов и сопел в форсунках;
- слеживание и комкование песка в бункерах;
- повышенный расход песка из-за конструктивных особенностей систем пескоподдачи и т.д.

Перечисленные причины снижают надежность работы локомотива и эксплуатационные показатели работы системы пескоподдачи [3].

На сегодняшний день проводятся разработки и внедрение новых типов тягового подвижного состава. В конструкцию внедряются такие инновационные решения, как догружающие устройства и наклонные тяги, необходимые для минимизации влияния перераспределения сцепного веса, асинхронный тяговый привод с поосным регулированием и др. Однако по-прежнему существуют такие негативные явления, как боксование и юз колесных пар единиц подвижного состава. Причина этого – высокая степень проскальзывания колес локомотивов. Проскальзывание колес в свою очередь зависит от многих эксплуатационных факторов: степень загрязнения поверхности рельс, условия окружающей среды, вес и скорость движения подвижного состава, профиль и план пути, а также особенности конструкции подвижного состава [4].

С увеличением протяженности гарантийных участков наблюдается значительный рост случаев «схода с кольца» локомотивов по ст. Тайшет, что приводит к снижению технико-экономических показателей, на достижение которых направлен ряд технологических изменений в процессе подготовки и эксплуатации тягового и нетягового подвижного состава по увеличенным гарантийным участкам проследования грузовых поездов (табл. 1).

«Сход с кольца» тягового подвижного состава приводит к вынужденной остановке состава грузового поезда на станции, где его стоянка и повторная обработка не предусмотрены графиком движения, а внеплановое поступление тягового подвижного состава на техническое обслуживание (ТО) ведет к значительным экономическим потерям компании и собственников груза и подвижного состава. На рис. 1 изображена схема процессов при сходе локомотива с кольца.

Сход локомотива с кольца увеличивает риски нарушения графика движения поездов, ведет к возникновению нарушений технологии, очередности предъявления грузовых поездов к обработке, стоянке поездов на перегонах по причине занятости путей и стрелочных переводов.

Для более наглядной иллюстрации на рис. 2 и 3 представлены количество сходов и анализ факторов, которые послужили причиной «схода с кольца» тягового подвижного состава на ст. Тайшет в 2018–2021 гг.

**Таблица 1.** Количество «сходов с кольца» по ст. Тайшет за 2018–2021 гг.  
**Table 1.** The number of «descents off the circle» for the Taishet station for 2018–2021

Месяцы Months	Количество «сходов с кольца» по годам, ед. The number of «descents off the circle» over years, un.					Причины «сходов с кольца» Causes for descents off the circle				
	2018	2019	2020	2021	Итого	Неисправности локомотива Locomotive malfunctions	Техническое обслуживание локомотива Locomotive maintenance	Недостаток песка Lack of sand	Граница оборотного плеча Reverse shoulder border	Текущий ремонт вагонов Current repairs of wagons
Январь January	221	507	293	352	1 373	361	389	173	445	15
Февраль February	123	360	326	359	1 168	294	322	61	484	18
Март March	108	377	295	378	1 158	314	275	71	498	3
Апрель April	176	342	356	427	1 301	344	311	5	647	0
Май May	142	329	270	284	1 025	285	220	0	520	0
Июнь June	102	275	263	237	877	153	127	0	597	0
Июль July	124	303	315	299	1 041	99	102	0	840	0
Август August	151	314	370	315	1 150	124	78	0	941	3
Сентябрь September	126	349	432	346	1 253	148	110	0	966	1
Октябрь October	118	331	394	355	1 198	195	185	8	809	3
Ноябрь November	132	351	378	416	1 277	274	230	41	723	10
Декабрь December	188	462	415	540	1 605	305	325	58	909	8
<i>Итого</i> <i>Total</i>	1 711	4 300	4 107	4 304	14 422	2 895	2 673	416	8 377	61

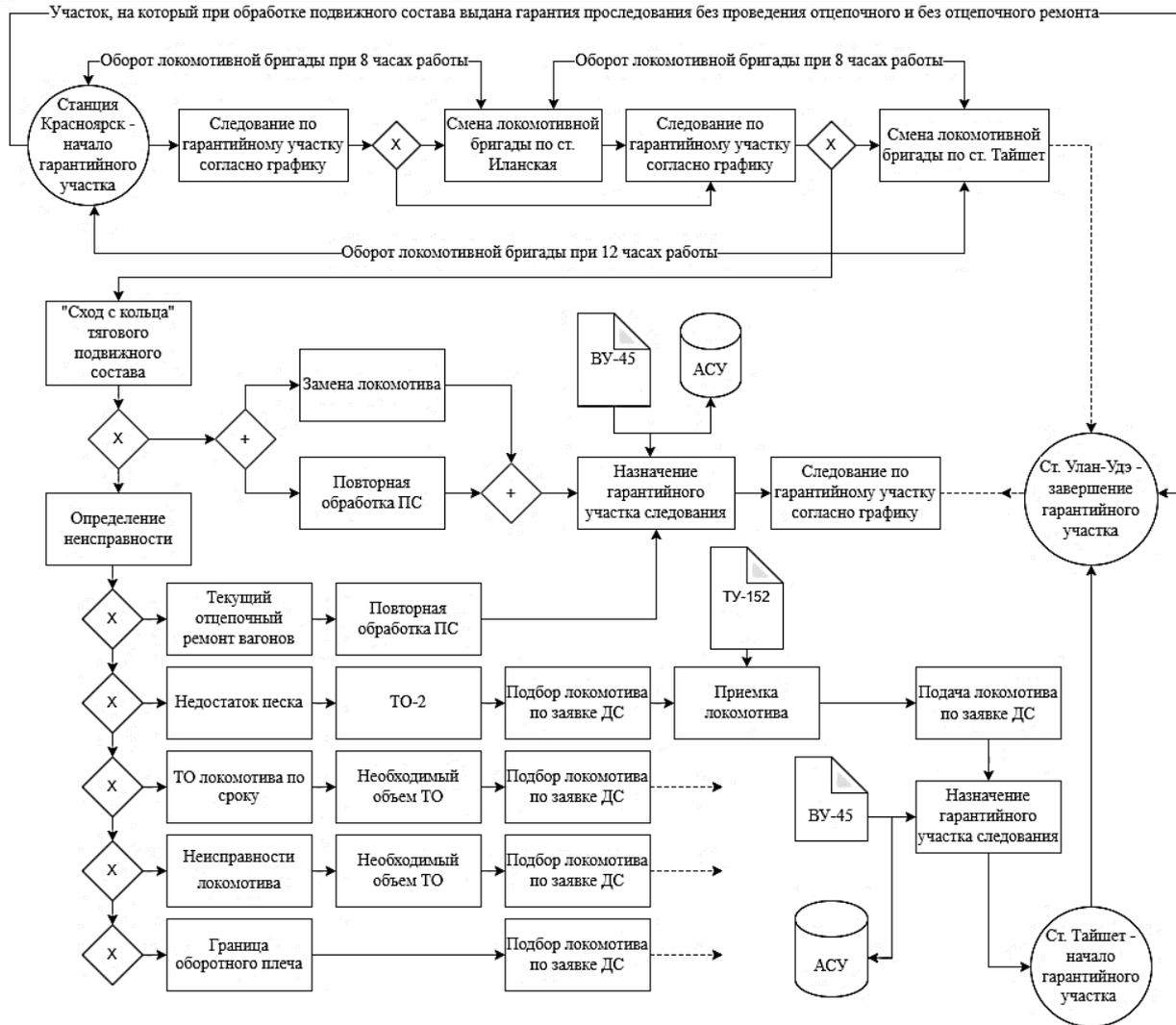


Рис. 1. Схема алгоритма действий при сходе локомотива с кольца  
 Fig. 1. Diagram of the algorithm of actions under a locomotive's descent off the circle

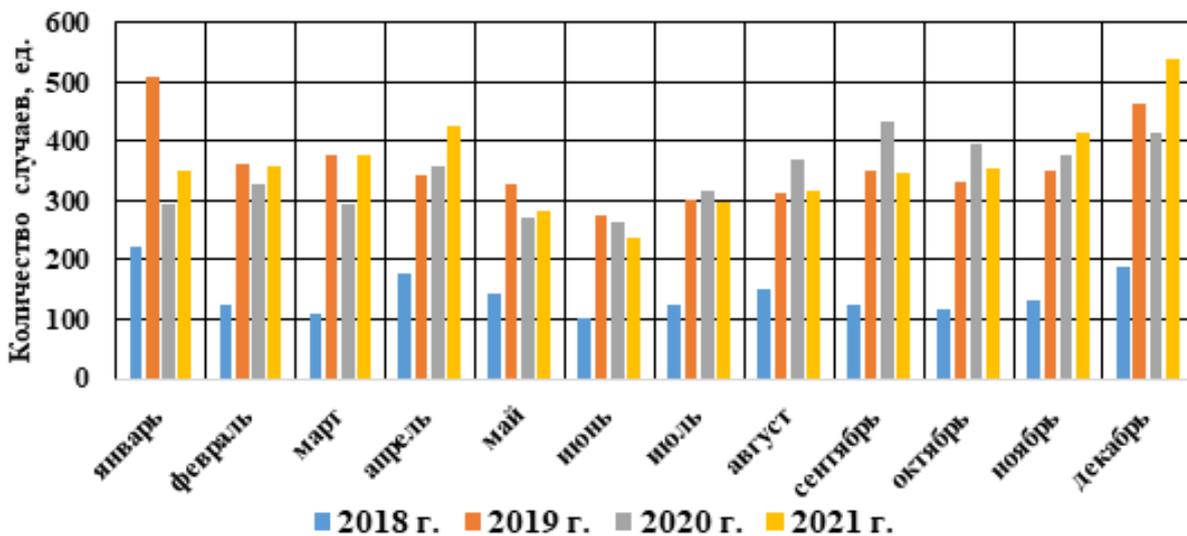


Рис. 2. Количество «сходов с кольца» по ст. Тайшет в 2018–2021 гг.  
 Fig. 2. The number of «descents off the circle» the Taishe station in 2018–2021

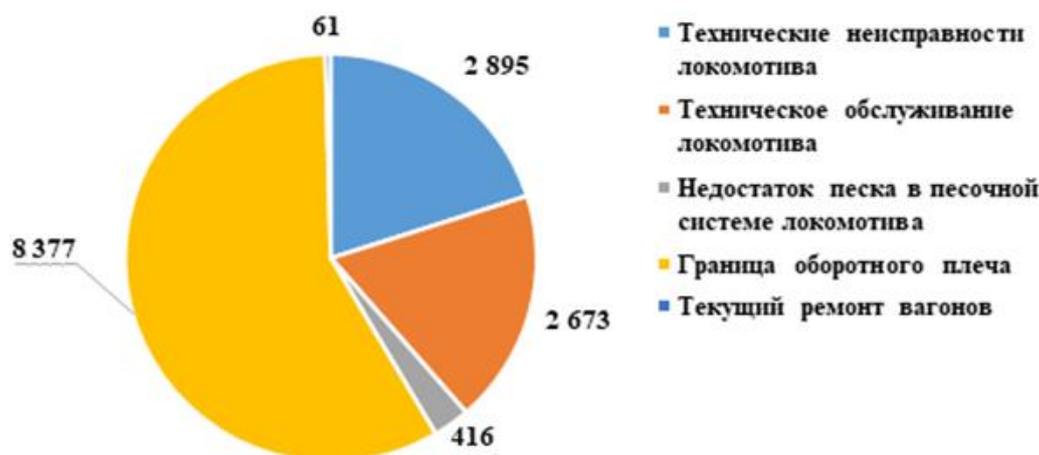


Рис. 3. Причины «сходов с кольца» тягового подвижного состава по станции Тайшет за 2018–2021 гг.

Fig. 3. Reasons for «descents off the circle» of traction rolling stock at Taishet station for 2018–2021

Существуют и другие статистические данные, иллюстрирующие совокупность неисправностей парка электровозов Восточно-Сибирской дирекции тяги. В [5] указывается, что неисправности песочной системы составляют от 10 до 11 % от общего числа отказов парка электровозов. На рис. 4 представлены причины неисправностей парка электровозов в количественном выражении.

Проведя анализ причин «сходов с кольца» тягового подвижного состава по ст. Тайшет, можно выделить, что довольно существенной технической причиной является недостаток песка в песочной системе локомотива. В графике (см. рис. 2) этот фактор занимает довольно небольшой объем, но последствия его влияния достаточно существенные. Значимость этого фактора заключается в том, что нерациональность использования песка может повлечь за собой постановку локомотива в ТО-2 и сход

локомотива с кольца, что принесет компании ОАО «РЖД» значительные убытки и усложнит работы смежных служб в организации деятельности станции и движения грузовых поездов на всем участке. Одна из основных причин данного явления может заключаться в человеческом факторе, а именно – в организации управления машинистом песочной системой локомотива.

#### Назначение, конструкция и принцип работы песочной системы локомотивов

В настоящий момент на Восточно-Сибирской железной дороге активно эксплуатируются грузовые и пассажирские электровозы переменного тока таких серий как ВЛ80, ВЛ85, Э5К, 2(3) ЭС5К, ВЛ65, ЭП1 и ЭП1М. Электровозы указанных серий оснащены системами пескоподдачи [6]. Основные сведения о их песочных системах приведены в табл. 2.



Рис. 4. Причины неисправностей песочной системы электровозов Восточно-Сибирской железной дороги

Fig. 4. Causes of malfunctions of the electric locomotives sand system at the East Siberian Railway

**Таблица 2.** Основные характеристики песочных систем некоторых электровозов парка Восточно-Сибирской железной дороги

**Table 2.** Main characteristics of sand systems of some of the East Siberian Railway's electric locomotive fleet

Серия электровоза Electric locomotive series	Осевая формула Axial formula	Количество песочных бункеров Quantity sand bunkers	Запас песка, кг Sand reserve, kg	Объем песочных бункеров, м <sup>3</sup> Sand bunker volume, m <sup>3</sup>	Тип и количество приводов Type and number of drives	Количество форсунок Number of nozzles	Тип форсунок Type of nozzles	Номера колесных пар по ходу движения, под которые производится подсыпка песка и способ ее осуществления Numbers of wheelsets in the direction of travel, under which sand is added and the method of adding it implementation	Возможность импульсной подачи Pulse submission capability
ВЛ80	2(2 <sub>0</sub> -2 <sub>0</sub> )	4 × 260 л 4 × 246 л 4 × 110 л	3 696	2,46 4	4 ЭП 2 П	16	ОН 3-64	к.п. №1П (Р), к.п. № 1, 3, 5 и 7 ЭП (Р и А)	+
ВЛ85	2(2 <sub>0</sub> -2 <sub>0</sub> -2 <sub>0</sub> )	12	5 800	4,0	12 ЭП	12	ОН 3-64	к.п. №1 и 7 ЭП (Р), к.п. № 1, 3, 5, 7, 9 и № 11 ЭП (Р и А)	+
Э5К	2 <sub>0</sub> -2 <sub>0</sub>	4	1 800	1,2	4 ЭП	8	ОН 3-64	к.п. № 1 и 3 ЭП (Р и А)	+
2ЭС5К	2(2 <sub>0</sub> -2 <sub>0</sub> )	8	3 600	2,4	8 ЭП	16	ОН 3-64	к.п. № 1, 3, 5 и 7 ЭП (Р и А)	+
3ЭС5К	3(2 <sub>0</sub> -2 <sub>0</sub> )	12	5 400	3,6	12 ЭП	24	ОН 3-64	к.п. № 1, 3, 5, 7, 9 и 11 ЭП (Р и А)	+
ВЛ65	2 <sub>0</sub> -2 <sub>0</sub> -2 <sub>0</sub>	4	1 170	0,78	2 ЭП	4	ОН 3-64	к.п. № 1 ЭП (Р и А)	+
ЭП1, ЭП1М	2 <sub>0</sub> -2 <sub>0</sub> -2 <sub>0</sub>	4	1 170	0,78	2 ЭП 4 ЭП	4 8	ОН 3-64	к.п. № 1 ЭП (Р и А), к.п. № 1 и 5 ЭП (Р и А)	+

Главная функциональная задача системы пескоподачи – обеспечение повышения коэффициента сцепления колес тележек локомотива с поверхностью рельс. Этот коэффициент является одним из основополагающих факторов, обеспечивающих эффективность перевозок железнодорожным транспортом. Другая немаловажная задача – обеспечение безопасного трогания подвижного состава с места.

Наиболее эффективным решением указанных задач стала подача кварцевого песка на поверхность рельса, под колеса локомотива. Известно достаточно много способов очистки поверхности рельса, которые предназначены для повышения коэффициента трения, напри-

мер, механический, термический, пневмогидравлический, электромагнитный и т.д. [7]. Однако на железнодорожном транспорте наибольшее распространение получил способ подачи песка на поверхность рельса по причине своей простоты и эффективности. В табл. 3 приведены некоторые данные о значениях коэффициента сцепления до и после применения пескоподачи при различных условиях на поверхности рельса [8, 9].

Проанализировав данные табл. 3, можно сделать вывод, что в среднем коэффициент сцепления повышается на 25–30 %.

Конструкцию системы пескоподачи рассмотрим на примере ее реализации на электро-

возе 2(3) ЭС5К «Ермак», который является основным грузовым электровозом Восточного полигона. На рис. 5 изображена пневматическая схема системы пескоподачи электровоза 2(3) ЭС5К «Ермак».

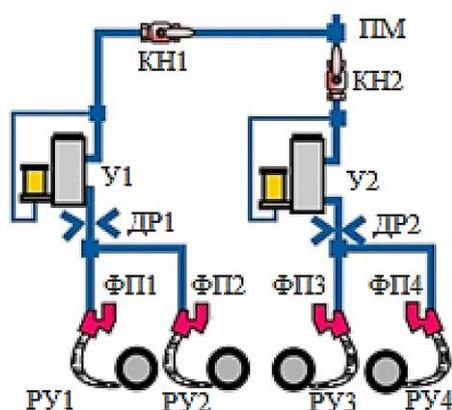
В конструкцию системы пескоподачи входят такие элементы, как бункеры (песочни-

цы), которые выполняют функцию хранения запаса сухого песка, форсунки, необходимые для подачи песковоздушной смеси на поверхность рельса, в точку контакта с колесом, и трубопроводы, объединяющие систему в единое целое и необходимые для транспортировки песка, а также устройства управления системы.

**Таблица 3.** Изменение величины коэффициента сцепления в зависимости от условий на поверхности рельса

**Table 3.** Change in the adhesion coefficient depending on the conditions on the rail surface

Условия на поверхности рельса Conditions on the rail surface	Величина коэффициента сцепления Value of adhesion coefficient		Изменение коэффициента сцепления, % Change in adhesion coefficient
	До пескоподачи Before sand delivery	После пескоподачи After sand delivery	
Чистая и сухая поверхность Clean and dry surface	0,25–0,30	0,35–0,40	25
Чистая и влажная поверхность Clean and damp surface	0,18–0,20	0,22–0,25	20
Влажная и покрытая маслом поверхность Damp and oiled surface	0,15–0,18	0,22–0,25	30
Поверхность, покрытая льдом Ice-covered surface	0,15	0,20	25
Поверхность, покрытая льдом, но с подводом тепла Ice-covered surface with heat input	0,13–0,17	0,26–0,33	50
Поверхность, слегка заснеженная Surface lightly snowy	0,10	0,15	30
Поверхность, после слабого дождя Surface after light rain	0,09–0,16	0,18–0,22	30
Поверхность, покрытая влажными опавшими листьями Surface covered with damp fallen leaves	0,01–0,07	0,12–0,20	65



**Рис. 5.** Пневматическая схема песочной системы секции электровоза 2(3) ЭС5К:

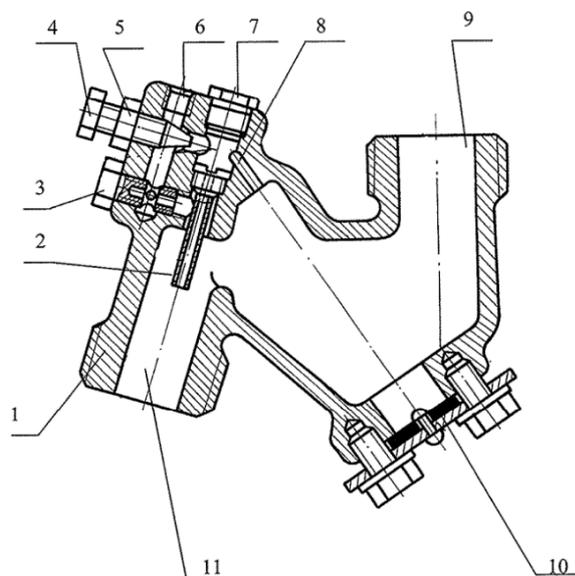
ПМ – питательная магистраль; КН1, 2 – разобщительные краны; У1, 2 – электропневматические клапаны; ДР1, 2 – дроссели; ФП1–4 – форсунки; РУ1–4 – сопла

**Fig. 5.** Pneumatic scheme of sand system of electric locomotive section 2(3) ЭС5К:

ПМ – feed line; КН1, 2 – isolation valves; У1, 2 – electro-pneumatic valves; ДР1, 2 – chokes; ФП1–4 – nozzles; РУ1–4 – injectors

Электропневматические клапаны осуществляют контроль за работой форсунок. Для осуществления гибкой связи используются резиновые рукава. Непосредственно подача песка реализуется через сопла.

Одним из основных элементов системы пескоподачи являются форсунки (рис. 6).



**Рис. 6.** Форсунка песочницы ОНЗ-64:

1 – корпус форсунки; 2 – сопло; 3 – болт;  
4 – регулировочный болт; 5 – контргайка;  
6 – отверстие; 7 – пробка; 8 – разрыхляющий болт;  
9, 11 – горловина; 10 – крышка

**Fig. 6.** Sandbox nozzle ОНЗ-64:

1 – nozzle body; 2 – nozzle; 3 – bolt;  
4 – adjusting bolt; 5 – lock nut; 6 – hole;  
7 – plug; 8 – loosening bolt;  
9, 11 – neck; 10 – cover

Форсунки выполняют функцию дозирования необходимого количества песка. Однако существующие форсунки обладают рядом конструктивных недостатков, снижающих эффективность песочной системы и приводящих к ее выходу из строя [10]. К указанным недостаткам относятся:

1. Выход песка из рукавов системы происходит с низкой скоростью. В этой ситуации возможный боковой ветер приведет к смещению потока песка.

2. Необходимость изменения количества песка в зависимости от времени года, без учета эксплуатационной ситуации.

3. Возможность чрезмерной подачи песковоздушной смеси и потеря уровня регулировки.

4. Закупоривание частицами песка отверстий и каналов в элементах песочной системы.

Для устранения недостатков существующей форсунки песочницы предлагаются ее новые конструкции. Так, в [11] для обеспечения низкой влажности песка и повышения надежности работы и срока службы предлагается конструкция форсунки с измененной геометрией воздухопроводных каналов. Известны и другие конструкции форсунок, направленные на повышение их эксплуатационных показателей [12, 13].

Бункеры системы пескоподачи электровоза 2(3) ЭС5К выполняются в виде емкостей, изготовленных с помощью сварочных соединений и их монтаж производится внутри кузова электровоза. Общий объем бункеров песочной системы для одной секции составляет 1 200 л. Загрузка песка производится через люки, расположенные на крыше. Для просеивания песка в горловинах бункеров имеются сетки.

При помощи сжатого воздуха осуществляется подача песка в системе и управление ее действием, поэтому песочная система подключена с помощью кранов к питательной магистрали.

Под колесные пары нечетных номеров, например, под первую, третью, пятую и седьмую по ходу движения локомотивов выполняется подача песка. В некоторых работах отмечается, что первая по ходу колесная пара локомотива находится в наиболее худших условиях, так как она проходит по наиболее влажной и загрязненной поверхности рельс, в отличие от последующих колесных пар [6, 10]. По этой причине эта колесная пара наиболее подвержена боксованию.

При выполнении экстренного торможения, при возникновении юза и боксования колесной пары также применяется система пескоподачи. В данных случаях производится автоматическая подсыпка песка путем включения электропневматических клапанов сигналом от пневматического выключателя управления. При скорости локомотива менее 10 км/ч подача песка прекращается.

На сегодняшний день существует три типа управления подачей песка в песочной системе:

1. Управление с помощью выключателя на пульте машиниста. Подача песка осуществляется под первые оси секций локомотивов.

2. Управление с помощью нажатия педали или кнопки. В этом случае подача песка

происходит под все нечетные колесные пары по ходу движения.

3. Автоматическое управление с помощью бортовых противобуксовочных систем. Подача песка осуществляется под колеса боксующих осей.

Достаточно широко применяется в эксплуатируемых песочных системах локомотивов импульсная подача песка на рельс. Указанный способ подачи песка предназначен для сокращения его расхода.

### **Пути совершенствования систем пескоподдачи локомотивов**

Песочные системы различных серий отечественных электровозов по принципу действия практически не отличаются друг от друга. Однако решение задачи непрерывной дозированной пескоподдачи под колеса с учетом действующих условий эксплуатации до сих пор не найдено [6]. Существующая норма подачи песка – 1,5 кг/мин. под первую колесную пару электровоза по ходу движения и 0,9 кг/мин. под остальные колесные пары полностью не отвечает решению проблемы повышения коэффициента сцепления и снижения расхода песка.

Стоит отметить, что системы подачи песка под колесные пары локомотива на протяжении многих лет совершенствовались, как и модельный ряд тягового подвижного состава. Активно предлагаются различные методы контроля поступления песка под колесную пару, а также системы контроля остатка песка в бункерах для хранения. Например, разрабатывается специализированное программное обеспечение, позволяющее определять уровень расхода песка и его остаток [14]. Необходимо уделять должное внимание проблеме рациональности применения песка машинистом локомотива.

Системы тягового подвижного состава ведут фиксацию множества параметров в пути следования, например, осуществляют прием и расшифровку сигналов АЛСН (автоматической локомотивной сигнализации) и АЛС-ЕН (автоматической локомотивной сигнализации единой непрерывной), выполняют контроль бдительности машиниста и состояния тормозной системы, ведут обнаружение числа свободных блок-участков при приеме сигналов АЛС-ЕН, а также осуществляют контроль фактической и допустимой скорости движения подвижного состава.

Однако не осуществляется контроль применения машинистом песка с привязкой к участку пути и, как следствие, может сложиться ситуация, которая приведет к бесконтрольному расходованию песка на участках, где его применение иррационально.

Одним из известных способов снижения расхода и потерь песка является его непосредственная подача к точке контакта поверхности катания колеса и рельса путем сокращения расстояния от среза рукава системы пескоподдачи до поверхности головки рельса. Указанное конструктивное решение может сократить потери песка от сдувания при его подаче к поверхности рельса [15].

Другой способ – применение адаптивных систем пескоподдачи [16]. Это изобретение представляет собой алгоритм управления системой пескоподдачи локомотива, который учитывает изменение таких параметров движения подвижного состава, как линейная и угловая скорости движения и т.д., а также состояние пути, его кривизну и уклон, условия окружающей среды. Данные для функционирования алгоритма предполагается собирать штатными датчиками, а последующая их обработка производится микроконтроллером. Результатом применения адаптивного управления песочной системой может быть более экономный расход песка и минимизация боксования и юза.

Альтернативным решением может быть замена песочной системы принципиально другим устройством.

В [17] указывается, что на сегодняшний день существует проблема небольшого пробега локомотивов между экипировками и техническими обслуживаниями ТО-2. Данная проблема препятствует возможности реализации организации ремонта локомотивов по техническому состоянию.

Указанная проблема может быть устранена двумя способами. Первый заключается в модернизации песочного оборудования локомотива, а также в расширении инфраструктуры и увеличении числа пунктов экипировки локомотивов. Второй подразумевает внедрение инновационного оборудования в конструкцию локомотивов, позволяющего сократить использование песка или полностью отказаться от него.

Расширение инфраструктуры и увеличение числа пунктов экипировки потребует значительных финансовых и материальных вло-

жений. Более выгодным является разработка и внедрение новых способов повышения сцепления колеса и рельса, а также оборудования и устройств, позволяющих осуществить это.

Одним из способов увеличения пробега локомотивов между экипировками песком является использование средств активации сцепления колес локомотивов. Проанализировав мировой опыт исследований в рассматриваемой области динамики подвижного состава, можно сделать вывод, что применение средств активации сцепления – одно из эффективных средств увеличения пробега локомотивов между внеплановыми экипировками песком.

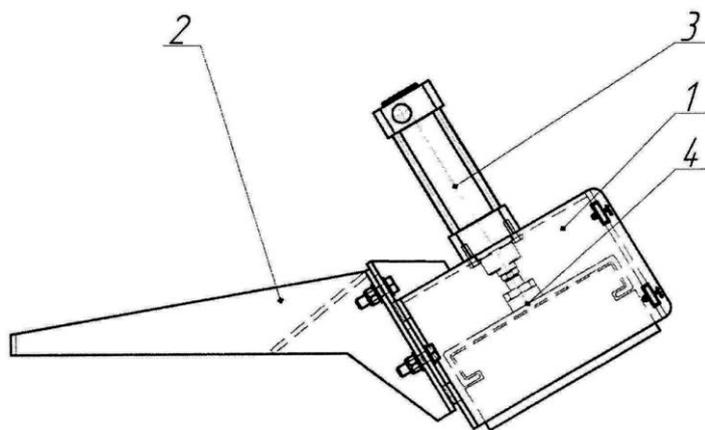
В России также ведутся разработки в этом направлении. Так, по заказу ОАО «РЖД» ученые РГУПС разработали технические требования к устройствам активации трения, а специалистами ООО «ТрансИнТех», «ПК «НЭВЗ» и «ТМХ Инжиниринг» было создано устройство активации трения для электровозов ЗЭС5К.

Созданное устройство представляет собой пневматический привод, который осуществляет функцию прижатия к поверхности катания колеса локомотива активатора трения [18]. Функционирование этого устройства синхронизировано с работой систем безопасности и управления (рис. 7). Активатор повышенного трения представляет собой составную деталь. Основа активатора сделана из алюминиевого сплава. В конструкции активатора предусмотрены равномерно распределенные полости, заполненные веществом, которое активизирует повышенное трение. Вещество является компо-

зитом, состоящим из полиэфирной смолы и специальных добавок на основе порошка из оксида алюминия. На рис. 8 указана схема активатора повышенного трения.

Были проведены поездные испытания разработанного устройства, которые проходили на полигоне Северо-Кавказской дирекции тяги и на участке Большой Луг – Слюдянка Восточного полигона. Результаты испытаний показали, что применение созданного устройства, которое получило название устройство активации трения локомотивов (УАТЛ), позволяет отказаться от применения песка для предотвращения боксования колесных пар, а также стабилизировать коэффициент сцепления, снизить разброс токовых характеристик и обеспечить надежное функционирование локомотива в сложных условиях при тяжеловесном движении. Применение этого устройства позволит снизить время простоя подвижного состава и материальные затраты на экипировку локомотивов, а также повысить производительность локомотивов и пропускную способность пути.

Существует направление, которое заключается в снижении времени простоя локомотива на пункте технического обслуживания локомотивов при его заправке песком. Так, в [19] предлагается автоматизированная система заправки локомотива песком, состоящая из ротационного уровнемера и шиберного затвора с пневматическим приводом. Результатом применения такой системы может стать снижение доли ручного труда и потерь песка при заправке системы пескоподачи локомотива.

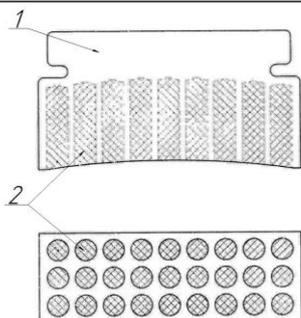


**Рис. 7.** Устройство активации трения и активатор повышенного трения:

1 – корпус, 2 – кронштейн, 3 – пневматический цилиндр; 4 – элемент активатора повышенного трения

**Fig. 7.** Friction activation device and high friction activator:

1 – box, 2 – bracket, 3 – pneumatic cylinder; 4 – element of the high friction activator



**Рис. 8.** Активатор повышенного трения:

1 – корпус из литейного алюминия; 2 – полости, заполненные веществом, повышающим трение

**Fig. 8.** High friction activator:

1 – body made of cast aluminum; 2 – cavities filled with a friction increasing substance

## Заключение

Одним из способов снижения времени всевозможных простоев, связанных с техническим обслуживанием единицы тягового подвижного состава, является совершенствование конструкции систем пескоподачи или их замена на альтернативную систему. Это позволит сократить время, затрачиваемое на обслуживание локомотива в процессе выполнения ТО-2. Данный возможный технический результат подтверждает актуальность решения задачи совершенствования указанных систем.

## Список литературы

1. Белозеров В.Л., Грачев А.А. «Вечные» вопросы организации движения поездов на двухпутных участках // Изв. Петербург. ун-та путей сообщ. 2017. Т. 14. № 3. С. 397–405.
2. Экономика предприятий железнодорожного транспорта. Планирование и анализ производственно-хозяйственной деятельности. Т. 1 / под ред. И.А. Костенец, Л.В. Шкуриной. М. : ЦНИП, 2016. 288 с.
3. Крагельский И.В., Виноградова И.Э. Коэффициенты трения. М. : Машгиз, 1962. 220 с.
4. Нехаев В.А., Николаев В.А., Минжасаров М.Х. Совершенствование динамических и тяговых свойств электровазнов нового поколения нелинейным рессорным подвешиванием // Транспорт Урала. 2015. № 3 (46). С. 60–66.
5. Корсаков Н.В., Линьков А.О. Разработка устройства дистанционного контроля уровня песка в бункере электроваза // Молодая наука Сибири. 2021. № 2 (12). С. 17–23.
6. Перспективы развития систем подачи песка электровазов / И.В. Волков, Ю.П. Булавин, И.В. Больших и др. // Тр. Ростов. гос. ун-та путей сообщ. 2018. № 4. С. 25–29.
7. Колисниченко Е.А. Совершенствование технологии очистки стрелочных переводов от твердых атмосферных осадков инфракрасным излучением : дис. ... канд. техн. наук. Иркутск, 2019. 142 с.
8. Koffman J. Adhesion and Friction in Rail Traction // Journal of the Institution of Locomotive Engineers. 1948. Vol. 38. № 205. P. 593–672.
9. Moore D.F. Principles and Applications of Tribology. London, N.Y. : Pergamon Press Publ., 1975. 400 p.
10. Коновалов П.Ю., Булавин Ю.П., Волков И.В. Расширение функциональных возможностей форсунки песочницы пневматической системы пескоподачи локомотивов // Вестн. Ростов. гос. ун-та путей сообщ. 2020. № 1 (77). С. 75–82.
11. Пат. 2761161 Рос. Федерация. Форсунка песочницы локомотива / А.В. Литвиненко, Д.С. Южалин, Г.Г. Антюхин и др. № 2021113012 ; заявл. 04.05.2021 ; опубл. 06.12.2021, Бюл. № 34. 8 с.
12. Пат. 180931 Рос. Федерация. Форсунка песочницы локомотива / Г.Г. Антюхин, С.В. Аркадсков, В.К. Клевакин и др. № 2017139778 ; заявл. 15.11.2017 ; опубл. 29.06.2018, Бюл. № 19. 6 с.
13. Пат. 2677739 Рос. Федерация. Форсунка песочницы локомотива / Г.Г. Антюхин, С.В. Аркадсков, В.К. Клевакин и др. № 2017139777 ; заявл. 15.11.2017 ; опубл. 21.01.2019, Бюл. № 3. 8 с.
14. Свидетельство № 2021665962. Программа для определения уровня и расхода песка в электровазе / А.О. Линьков, Н.В. Линькова, А.Ю. Портной. № 2021664748 ; заявл. 23.09.2021 ; зарегистр. 05.10.2021.
15. Коновалов П.Ю., Булавин Ю.П., Волков И.В. Влияние формы выходного сечения подсыпного рукава пневматического привода системы пескоподачи на эффективность транспортировки песковоздушной смеси // Тр. Ростов. гос. ун-та путей сообщ. 2020. № 1 (50). С. 42–48.
16. Пат. 2780751 Рос. Федерация. Способ адаптивного управления автоматической подачей песка под колеса локомотива / С.П. Круглов, С.А. Исупов. № 2022104845 ; заявл. 22.02.2022 ; опубл. 30.09.2022, Бюл. № 28. 21 с.
17. Майба И.А. Оценка технической эффективности применения устройств активации трения локомотивов // Вестн. Ростов. гос. ун-та путей сообщ. 2022. № 3 (87). С. 42–47.
18. Пат. 2721993 Рос. Федерация. Устройство активации трения и активатор повышенного трения / О.С. Валинский, А.Л. Выщепан, А.М. Лубягов и др. № 2019117405 ; заявл. 04.06.2019 ; опубл. 25.05.2020, Бюл. № 15. 10 с.
19. Волчек Т.В. Разработка автоматизированной системы пескоподачи для пунктов технического осмотра локомотивов // Вестн. Ростов. гос. ун-та путей сообщ. 2022. № 3 (87). С. 64–71.

## References

1. Belozеров V.L., Grachev A.A. «Vechnye» voprosy organizatsii dvizheniya poezdov na dvukhpутnykh uchastkakh [«Eternal» issues of the organization of train traffic on double-track sections]. *Izvestiya Peterburgskogo universiteta putei soobshcheniya* [Bulletins of the Saint Petersburg Transport University], 2017, vol. 14, no. 3, pp. 397–405.
2. Ekonomika predpriyatii zheleznodorozhnogo transporta. Planirovanie i analiz proizvodstvenno-hozyaistvennoi

deyatelnosti. T. 1. [Economics of railway transport enterprises. Planning and analysis of production and economic activities. Vol. 1]. Ed. by Kostenets I. A. and Shkurina L.V. Moscow: YsNIP Publ., 2016. 288 p.

3. Kragel'skii I.V., Vinogradova I.E. Koeffitsienty treniya [Friction coefficients]. Moscow: Mashgiz Publ., 1962. 220 p.
4. Nekhaev V.A., Nikolaev V.A., Minzhasarov M. Kh. Sovershenstvovanie dinamicheskikh i tyagovykh svoystv elektrovozov novogo pokoleniya nelineinym resornym podveshivaniem [Improvement of dynamic and traction properties of new generation electric locomotives by nonlinear spring suspension]. *Transport Urala* [Transport of the Urals], 2015, no. 3 (46), pp. 60–66.
5. Korsakov N.V., Lin'kov A.O. Razrabotka ustroystva distantsionnogo kontrolya urovnya peska v bunkere elektrovoza [Development of a device for remote monitoring of the sand level in the bunker of an electric locomotive]. *Molodaya nauka Sibiri* [Young Science of Siberia], 2021, no. 2 (12), pp. 17–23.
6. Volkov I.V., Bulavin Yu.P., Bol'shykh I.V., Konovalov P.Yu. Perspektivy razvitiya sistem podachi peska elektrovozov [Prospects for the development of sand supply systems for electric locomotives]. *Trudy Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniya* [Proceedings of the Rostov State University of Railways], 2018, no. 4, pp. 25–29.
7. Kolisnichenko E.A. Sovershenstvovanie tekhnologii ochkistki strelochnykh perevodov ot tverdykh atmosferynykh osadkov infrakrasnym izlucheniem [Improving the technology of cleaning switches from solid atmospheric precipitation by infrared radiation]. Ph.D.'s thesis. Irkutsk, 2019. 142 p.
8. Koffman J. Adhesion and Friction in Rail Traction. *Journal of the Institution of Locomotive Engineers*, 1948, vol. 38, no. 205, pp. 593–672.
9. Moore D.F. Principles and Applications of Tribology. London, N.Y.: Pergamon Press Publ., 1975. 400 p.
10. Konovalov P.Yu., Bulavin Yu.P., Volkov I.V. Rasshirenie funktsional'nykh vozmozhnostei forsunki pesochitsy pnevmaticheskoi sistemy peskopodachi lokomotivov [Expanding the functionality of the sandbox nozzle of the pneumatic sand delivery system of locomotives]. *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniya* [Bulletin of the Rostov State Transport University], 2020, no. 1 (77), pp. 75–82.
11. Litvinenko A.V., Yuzhalin D.S., Antyukhin G.G., Strungar' S.A., Silyuta A.G. Patent RU 2761161 C1, 06.12.2021.
12. Antyukhin G.G., Arkadskov S.V., Klevakin V.K., Chernyshev P.V. Patent RU 180931 U1, 29.06.2018.
13. Antyukhin G.G., Arkadskov S.V., Klevakin V.K., Chernyshev P.V. Patent RU 2677739 C1, 21.01.2019.
14. Lin'kov A.O., Lin'kova N.V., Portnoi A.Yu. Certificate of registration of a computer program 2021665962, 05.10.2021.
15. Konovalov P.Yu., Bulavin Yu.P., Volkov I.V. Vliyanie formy vykhodnogo secheniya podsypnogo rukava pnevmaticheskogo privoda sistemy peskopodachi na effektivnost' trans-portirovki peskovozdushnoi smesi [Influence of the shape of the outlet section of the filling sleeve of the pneumatic drive of the sand supply system on the efficiency of transportation of the sand-air mixture]. *Trudy Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniya* [Proceedings of the Rostov State University of Railways], 2020, no. 1 (50), pp. 42–48.
16. Kruglov S.P., Isupov S.A. Patent RU 2780751 C1, 30.09.2022.
17. Maiba I.A. Otsenka tekhnicheskoi effektivnosti primeneniya ustroystv aktivatsii treniya lokomotivov [Evaluation of the technical efficiency of the use of locomotive friction activation devices]. *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniya* [Bulletin of the Rostov State Transport University], 2022, no. 3 (87), pp. 42–47.
18. Valinskii O.S., Vyshchepan A.L., Lubyagov A.M., Maiba I.A. Patent RU 2721993 C1, 25.05.2020.
19. Volchek T.V. Razrabotka avtomatizirovannoi sistemy peskopodachi dlya punktov tekhnicheskogo osmotra lokomotivov [Development of an automated sand feeding system for locomotive technical inspection points]. *Vestnik Rostovskogo gosudarstvennogo universiteta putei soobshcheniya* [Bulletin of the Rostov State Transport University], 2022, no. 3 (87), pp. 64–71.

### Информация об авторах

**Трескин Сергей Викторович**, аспирант кафедры вагонов и вагонного хозяйства, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: sergei.tresckin@yandex.ru.

**Дульский Евгений Юрьевич**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры вагонов и вагонного хозяйства, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: e.dulskiy@mail.ru.

**Иванов Павел Юрьевич**, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры электроподвижного состава, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: savl.ivanov@mail.ru.

**Ромашов Антон Викторович**, аспирант кафедры вагонов и вагонного хозяйства, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск; e-mail: Patifonik@bk.ru.

### Information about the authors

**Sergei V. Treskin**, Ph.D. Student of the Department of Wagons and Wagon Facilities, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: sergei.tresckin@yandex.ru.

**Evgenii Yu. Dul'skii**, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Wagons and Wagon Facilities, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: e.dulskiy@mail.ru.

**Pavel Yu. Ivanov**, Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Electric Rolling Stock, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: savl.ivanov@mail.ru.

**Anton V. Romashov**, Ph.D. Student of the Department of Wagons and Wagon Facilities, Irkutsk State Transport University, Irkutsk; e-mail: Patifonik@bk.ru.