

С.Л. Сизых, Н.П. Рычков

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

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЗАИМОДЕЙСТВИЯ ТОРМОЗНЫХ КОЛОДОК ГРУЗОВЫХ ВАГОНОВ ПРИ ДВИЖЕНИИ ПО СЛОЖНЫМ УЧАСТКАМ ПУТИ ВОСТОЧНОГО ПОЛИГОНА

Аннотация. Железные дороги являются ведущим видом транспорта в нашей стране. Они играют решающую роль в выполнении перевозок грузов, топлива, промышленного сырья и готовой продукции. Бесперебойное функционирование железнодорожного транспорта создает условия для развития экономики страны, ее промышленности и сельского хозяйства.

В статье приводится сравнительный анализ взаимодействия тормозных колодок различного исполнения грузовых вагонов в условиях интенсификации их использования при движении по железным дорогам Восточного полигона.

Ключевые слова: *грузовые вагоны, тормозная колодка, тормозная эффективность, тормозной путь.*

S.L. Sizykh, N.P. Rychkov

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE INTERACTION OF BRAKE SHOES OF FREIGHT CARS WHEN MOVING ALONG DIFFICULT SECTIONS OF THE EASTERN TRAINING RANGE

Abstract. *Railways are the leading mode of transport in our country. They play a decisive role in the transportation of goods, fuel, industrial raw materials and finished products. Uninterrupted functioning of railway transport creates conditions for the development of the country's economy, its industry and agriculture.*

The article provides a comparative analysis of the interaction of brake shoes of various designs of freight cars in the conditions of their intensification of use when moving along the railways of the Eastern Polygon.

Key words: *freight cars, brake pad, braking performance, braking distance.*

Введение

Защищенность процесса перевозки на железнодорожном транспорте от случаев аварий, а также сохранность грузов и безопасность пассажиров и работников железной дороги является ключевым аспектом безопасности движения. Это также включает в себя защиту окружающей среды и непрерывность работы железнодорожной системы.

Тормозная система железнодорожного подвижного состава включает в себя ряд устройств, задача которых – создать необходимое противодействие для контроля скорости или полной остановки поезда. Эффективность тормозных средств является одним из важнейших условий, определяющих возможность повышения веса, а также участковой и технической скоростей движения поездов. Повышение скорости движения поездов позволит увеличить прибыль компании ОАО «РЖД». Тормоза являются главным средством, обеспечивающим безопасность и рост скоростей движения поездов [1-3].

В зависимости от цели и ситуации, применение тормозов может быть разным: от экстренного до регулировочного торможения. Система экстренного торможения активируется при возникновении непредвиденной опасности и включает использование фрикционных тормозов для полной остановки поезда. При этом, тормозной коэффициент устанавливается на максимально допустимый уровень, а норма тормозного пути зависит от угла наклона спуска, максимальной разрешенной скорости и типа поезда – пассажирского или грузового.

Термин «руководящий спуск» относится к наиболее крутому участку пути, который превышает длину пути, необходимого для торможения. При полном служебном торможении,

которое используется для расчета размещения сигналов на пути, тормозной коэффициент уменьшается до 0,8 от максимальной значимости.

Эксплуатация грузовых поездов на Восточном полигоне

По данным Федеральной таможенной службы [4], до 2022 года товарооборот Российской Федерации со странами Европы составлял порядка 50% от общего внешнеторгового оборота, по данным 2023 года от составляет около 22%, и 70% приходится на страны Азии. Фактически товарооборот с неевропейскими странами возможен по следующим логистическим маршрутам: через порты Азовского и Черного моря, наиболее значительный из них Новороссийск; через транспортный коридор Север-Юг, выходящий на Иран, и через восточный сухопутный коридор с узловыми портами юга Приморья – Владивосток, Находка, Восточный, а также Хабаровского края – Советская Гавань. Увеличение грузооборота через восточный коридор повлекло достаточно серьезные организационные и технические сложности.

ВОСТОЧНО-СИБИРСКАЯ, ЗАБАЙКАЛЬСКАЯ, ДАЛЬНЕВОСТОЧНАЯ И САХАЛИНСКАЯ ЖЕЛЕЗНЫЕ ДОРОГИ



Рис. 1. Карта железных дорог Восточного полигона

Основной способ доставки грузов по восточному коридору – перевозка по Транссибирской магистрали и частично – по Байкало-Амурской магистрали. Проблема этого коридора заключается в скором исчерпании провозной способности. Оценочная величина провозной способности двухпутной Транссибирской магистрали не превышает 150 миллионов тонн в каждом направлении – это с учетом потенциала инновационного полувагона, который способен перевозить 77 тонн груза. Таким образом, оценка провозной способности представляет собой верхний предел при полной массе каждого состава 7100 тонн, включая массу вагонов, в том числе масса полезного груза 5467 тонн. Фактическая загрузка составов в настоящее время существенно меньше – не более 70 тонн на вагон, к тому же в вагонном парке имеется большое число полувагонов с максимальной загрузкой 65 и 60 тонн. Состав, состоящий из таких вагонов, перевозит 4200 – 4600 тонн полезного груза. Провозная способность Байкало-Амурской магистрали оценивается в половину от Транссибирской, поскольку она однопутная на большей части маршрута. Отсюда возникают оценки провозной способности Восточного полигона в 220-225 миллионов тонн [5].

Особенности работы тормозного оборудования грузовых вагонов

Тщательное исследование предписаний, регулирующих безопасность на железнодорожном транспорте, приводит к формулированию определённого принципа. Он заключается в том, что интервал между сигнальными устройствами должен превышать дистанцию, необходимую для остановки поезда при экстренном торможении, на двадцать процентов. Это правило применяется ко всем категориям поездов [6]. Однако для пассажирских поездов, развивающих скорость свыше 160 километров в час, предусмотрено строже требование: зазор между сигналами должен быть увеличен до сорока процентов от длины пути экстренной остановки. Исходя из этого, индекс безопасности торможения

определяется с использованием следующего выражения: отношение длины пути, который пройден при служебном торможении, к длине пути торможения в экстренной ситуации:

$$K_r = \frac{S_{с.т.}}{S_{э.т.}} \quad (1)$$

где $S_{с.т.}$ – длина тормозного пути при служебном торможении или минимальное расстояние между постоянными сигналами автоблокировки; $S_{э.т.}$ – длина тормозного пути при экстренном торможении.

Нормативным коэффициентом безопасности является величина 1,2, а для пассажирского движения со скоростями выше 160 км/ч – 1,4.

Служебное торможение производится для остановки поезда на станциях и отдельных пунктах согласно расписанию с тормозным коэффициентом $0,5v_p$, а для пассажирских, дизель- и электропоездов – $0,8v_p$.

Следует отметить, что способность экстренно тормозить с высокой эффективностью играет ключевую роль в минимизации последствий чрезвычайных ситуаций. Несмотря на то, что предотвращение столкновений или наездов исключительно посредством экстренного торможения часто невозможно, снижение скорости движения поезда существенно уменьшает кинетическую энергию удара, тем самым сокращая степень разрушений. Это подтверждается многочисленными экспериментальными исследованиями ученых [7-10]. Следовательно, улучшение функциональности тормозной системы представляется весьма значимой задачей в контексте обеспечения безопасности железнодорожного транспорта.

Анализ и оценка взаимодействия тормозных колодок грузовых вагонов различного исполнения

В настоящее время на российских железнодорожных вагонах используются два типа тормозных колодок: чугунные, которые в основном применяются на пассажирских вагонах (например, колодки из чугуна по ОСТ 32.194-2002), и композиционные на основе полимеров (ТИИР-300, ТИИР-303, ТИИР-308), предназначенные преимущественно для грузовых вагонов [11]. Оба типа колодок имеют свои достоинства, которые способствовали их длительному использованию в железнодорожном секторе, а также недостатки, усугубление которых в результате увеличения скоростей движения составов и нагрузок на ось вагона обуславливает необходимость перехода на колодки из новых фрикционных материалов. Чугунные тормозные колодки, например, выделяются высокой теплопроводностью, что позволяет эффективно отводить тепло из зоны трения «колодка-колесо», а также своей экономичностью. Применение таких колодок на скоростях свыше 120 км/ч является неприемлемым из-за снижения коэффициента трения.

Чугунные колодки, в частности, отличаются низкой износостойкостью, которая составляет всего 30-50 тыс. км. В отличие от них, композиционные колодки на полимерной основе демонстрируют стабильный коэффициент трения и высокую износостойкость в диапазоне 90-200 тыс. км на различных скоростях. Однако они могут вызывать термомеханические повреждения колес из-за своей низкой теплопроводности.

В осенне-зимний период такие колодки подвержены обледенению, что требует активации тормозов для их просушки. Таким образом, идеальный материал для тормозной колодки должен обеспечивать стабильный коэффициент трения на всех скоростях и уровнях давления, иметь износостойкость не менее 200 тыс. км, а также предотвращать образование термических трещин на колесах и снижать их износ в процессе эксплуатации (назовем это колесосберегающим эффектом).



композиционная



чугунная

Рис. 2. Основные виды тормозных колодок

Металлокерамические фрикционные материалы отвечают этим противоречивым требованиям, получаемые методом порошковой металлургии. За границей были разработаны и внедрены металлокерамические тормозные колодки, например, из материала Diafrikт на медной основе (Чехия), которые демонстрируют более высокую износостойкость и стабильный коэффициент трения по сравнению с композиционными колодками на полимерной основе. Кроме того, их взаимодействие с поверхностью катания колеса не вызывает появления термических трещин и выщербин [12]. Однако серьезным препятствием для эксплуатации металлокерамических колодок в России является их высокая стоимость, обусловленная составом, который может включать до 70% меди и до 7% олова [4]. Однако возможность заменить металлокерамический фрикционный материал тормозных колодок на медной основе металлокерамикой на железной дала, по первоначальным оценкам, снижение себестоимости колодки более чем в 5 раз. В настоящее время Интенсификация железнодорожных перевозок на территории России в 2000-2020 годы привела к появлению ряда проблем в сфере эксплуатации железнодорожного транспорта, в частности к повышенному износу рельсов, колес и тормозных колодок. И если для борьбы с износом рельсов и колес разработано достаточное количество методик – от лубрикации до изменения конструкции вагонных тележек, то основной мерой борьбы с износом тормозных колодок является создание новых видов фрикционных материалов.

Кроме того, необходимо учитывать, что высокая стоимость металлокерамических колодок может быть не единственным фактором, ограничивающим их распространение на российском рынке. Местные производители часто сталкиваются с проблемами поставок качественных сырьевых материалов, а также с отсутствием необходимого оборудования для их производства. Это затрудняет конкурентоспособность на фоне более доступных композитных колодок.

На основании исследований [13] рассмотрим результаты стендовых испытаний тормозных колодок различного исполнения.

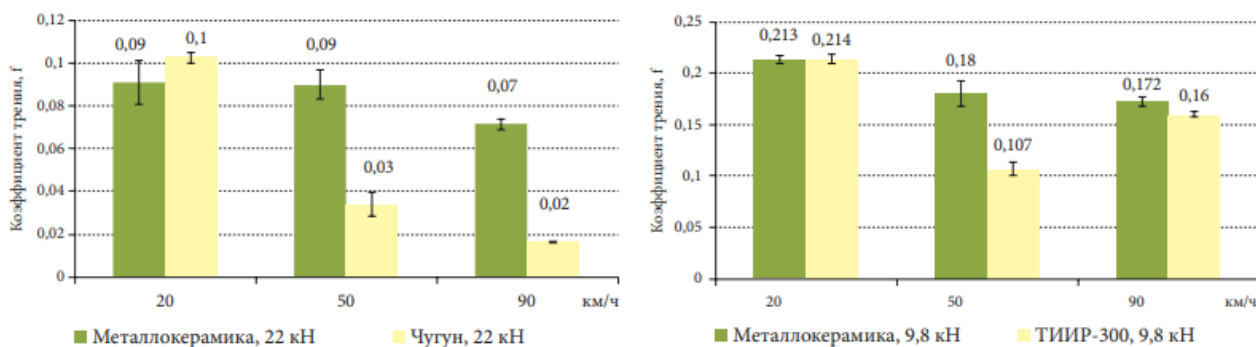


Рис. 3. Результаты стендовых испытаний тормозных колодок по величине коэффициента трения

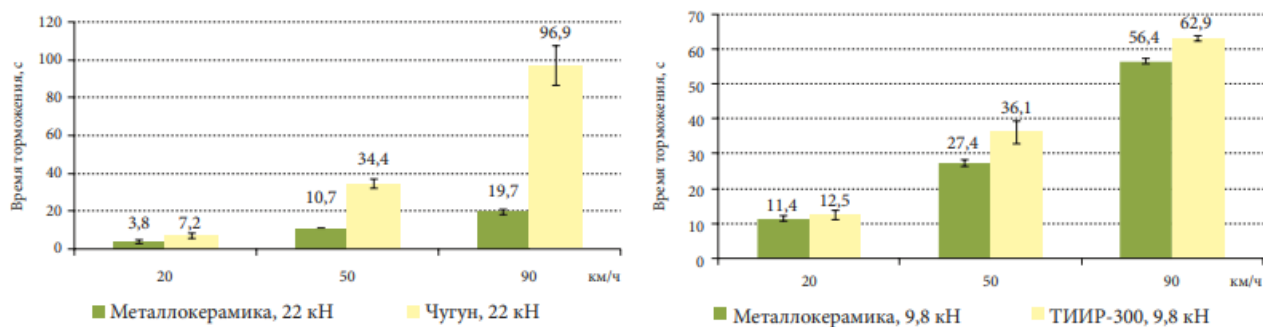


Рис. 4. Результаты стендовых испытаний тормозных колодок по времени торможения

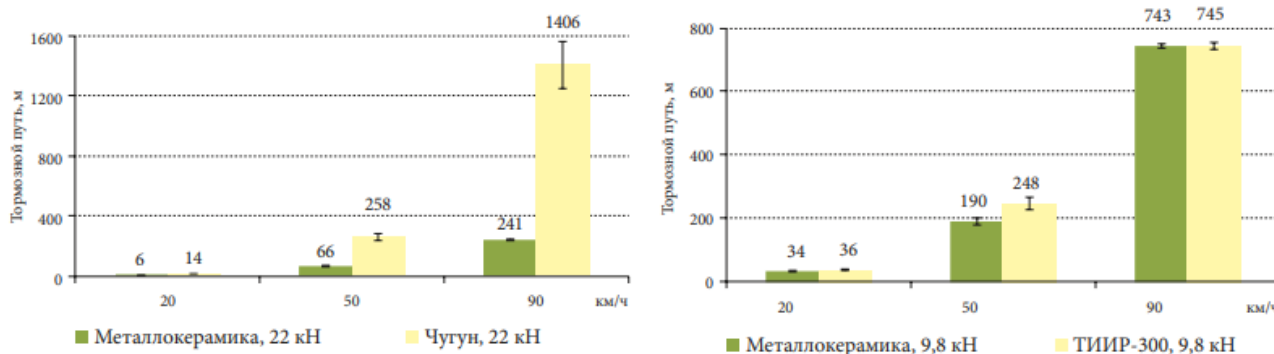


Рис. 5. Результаты стендовых испытаний тормозных колодок по тормозному пути

Тем не менее, стоит отметить, что металлокерамические тормозные колодки обладают рядом преимуществ, которые могут оправдать их высокую цену. Они обеспечивают более краткий тормозной путь, особенно в условиях экстремальных температур, что критически важно для безопасности движения. Кроме того, такие колодки характеризуются меньшим уровнем шума и вибрации, что улучшает комфорт водителя и пассажиров.

Результаты проведенных испытаний демонстрируют, что предлагаемый металлокерамический фрикционный материал на основе железа превосходит стандартные материалы, такие как чугун и ТИИР-300, как в отношении фрикционных характеристик, так и износостойкости. В частности, тормозной путь, обеспечиваемый новым металлокерамическим материалом, оказался на 10-20% короче, чем у композиции ТИИР-300, при этом его износостойкость более чем в два раза выше [13].

Также стоит обратить внимание на то, что с развитием технологий и увеличением спроса на высококачественные тормозные системы, возможно, в будущем цены на металлокерамические колодки снизятся. Это может привести к их более широкому применению как в легковом, так и в грузовом транспорте. Более того, активная работа исследовательских институтов и компаний над улучшением состава и технологии производства может привести к созданию более дешевых и эффективных альтернатив, которые будут конкурентоспособны на рынке.

Таким образом, несмотря на существующие проблемы, потенциальные преимущества металлокерамических тормозных колодок могут способствовать их внедрению в России, особенно в условиях роста требований к безопасности и эффективности транспортных средств [15].

На рисунке 6 представлена поверхность катания колеса после взаимодействия с моделями тормозных колодок. Можно заметить, что на этой поверхности не образуются выщербины, термические трещины, навары, кольцевые выработки и прочие дефекты при контакте с металлокерамическим материалом. В конечном итоге, осуществление колесосберегающего эффекта, заложенного в разработанном материале, может быть подтверждено результатами эксплуатационных испытаний. Техничко-экономический анализ продемонстрировал, что замена стандартных чугунных тормозных колодок на пассажирских вагонах на металлокерамические позволит окупить инвестиции за 0,62 года, в то время как

переход на металлокерамические колодки вместо полимерных композиционных на грузовых вагонах займет 3,06 года. В настоящее время готовится к производству опытной партии металлокерамических тормозных колодок на железной основе с повышенной износостойкостью.



а – с металлокерамическими вставками, б – с чугунными вставками, в – со вставками из полимерного композита ТИИР-300

Рис. 6. Поверхность катания колеса после взаимодействия с тормозной колодкой

Заключение

Подводя итог, следует отметить, что способность экстренно тормозить с высокой эффективностью играет ключевую роль в минимизации последствий чрезвычайных ситуаций. Несмотря на то, что предотвращение столкновений или наездов исключительно посредством экстренного торможения часто невозможно, снижение скорости движения поезда существенно уменьшает кинетическую энергию удара, тем самым сокращая степень разрушений. Следовательно, улучшение функциональности тормозной системы представляется весьма значимой задачей в контексте обеспечения безопасности железнодорожного транспорта.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Крылов В.И., Крылов В.В., Ефремов Е.Н., Демушкин П.Т. Тормозное оборудование железнодорожного подвижного состава: справочник. М. : Транспорт, 1989. 487 с.
2. Асадченко В.Р. Автоматические тормоза подвижного состава: учебное пособие для вузов ж.-д. транспорта. М. : Маршрут. 2006. 392 с.

3. Иноземцев В.Г., Казаринов В.М., Ясенцев В.Ф. Автоматические тормоза: учебник для вузов. М. : Транспорт, 1981. 464 с.
4. Профицит торгового баланса России в 2023 году сократился на 58,5% // Интерфакс. – Режим доступа: <https://www.interfax.ru/business/945632>.
5. Восточный полигон РЖД: анализ проблем развития железнодорожной инфраструктуры 2024 // Росконгресс. Пространство доверия. – Режим доступа: <https://roscongress.org/materials/vostochnyy-poligon-rzhd-analiz-problem-razvitiya-zheleznodorozhnoy-infrastruktury-2024/>.
6. Галай Э. И. Тормоза локомотивов и вагонов: проблемы и перспективы: учеб. пособие: в 2 ч. Ч. 2: Фрикционные узлы тормозов. Гомель: БелИИЖТ. 1993. 69 с.
7. Ermolenko, I. Yu., Zheleznyak V.N., Martynenko L.V. Force loading of wagon during interaction of truck and bodywork in curves paths // AER-Advances in Engineering Research (vol. 158). 2018. pp. 130-134.
8. Ермоленко И.Ю., Морозов Д.В., Асташков Н.П. Влияние продольных нагрузок на безопасность движения при эксплуатации на горно-перевальных участках пути // Вестник Ростовского государственного университета путей сообщения. 2021. № 2 (82). С. 104-111. DOI: 10.46973/0201-727X_2021_2_104.
9. Ермоленко И.Ю., Железняк В.Н. Исследование динамики подвижного состава с использованием экспериментального вагона-лаборатории при движении по сложным участкам дороги ВСЖД // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. 2016. № 4(52). С. 199-203.
10. Ермоленко И.Ю., Железняк В.Н., Рычков Н.П. Анализ эффективности работы тормозных колодок в зависимости от степени их износа по результатам поездных испытаний в вагон-лаборатории // Транспортная инфраструктура Сибирского региона. 2017. Т.2 С. 492-495.
11. Галай Э.И., Галай Е.Э. Тормозные системы железнодорожного транспорта. Конструкция тормозного оборудования: учебное пособие. Белорусский государственный университет транспорта. Гомель: БелГУТ, 2010. 315 с.
12. Шакина А.В., Фадеев В.С., Штанов О.В. Металлокерамическая тормозная колодка повышенной износостойкости // Труды международной научно-практической конференции «Транспорт-2015». 2015. Т.2. С.287-289.
13. Шакина А.В., Фадеев В.С., Штанов О.В. Вагонные тормозные колодки повышенной износостойкости // Вестник института проблем естественных монополий: техника железных дорог. 2014. №4 (28). С. 66-69.
14. Емельянов, Д.О., Иванов П.Ю., Дульский Е.Ю. Инновационная методика определения коэффициента трения в системе "Колодка - Колесо" // Известия Транссиба. 2022. № 3(51). С. 99-112.
15. Федоров Е.В., Лаптев С.И. Анализ свойств автоматичности тормозов грузовых поездов // Материалы Международной научно-технической конференции «Инновационный транспорт-2016», посвященная 60-летию основания Уральского государственного университета путей сообщения. 2017. С. 291-297.

REFERENCES

- 1 Krylov V.I., Krylov V.V., Efremov E.N., Demushkin P.T. Brake equipment of railway rolling stock: reference book. Moscow: Transport, 1989. 487 p.
2. Asadchenko V.R. Automatic brakes of rolling stock: a textbook for higher education institutions of railway transport. Moscow: Route. 2006. 392 p.
3. Inozemtsev V.G., Kazarinov V.M., Yasentsev V.F. Automatic brakes: textbook for universities. Moscow: Transport, 1981. 464 p.
4. Russia's trade surplus in 2023 fell by 58.5% // Interfax. – Access mode: <https://www.interfax.ru/business/945632>.
5. Eastern Polygon of Russian Railways: Analysis of the Problems of Railway Infrastructure Development in 2024 // Roscongress. Space of Trust. – Access mode: <https://roscongress.org/materials/vostochnyy-poligon-rzhd-analiz-problem-razvitiya-zheleznodorozhnoy-infrastruktury-2024/>.

6. Galai E. I. Brakes of locomotives and wagons: problems and prospects: textbook: in 2 parts. Part 2: Friction units of brakes. Gomel: BelIIZhT. 1993. 69 p.
7. Ermolenko, I. Yu., Zheleznyak V.N., Martynenko L.V. Force loading of wagon during interaction of truck and bodywork in curves paths // AER-Advances in Engineering Research (vol. 158). 2018. pp. 130-134.
8. Ermolenko I.Yu., Morozov D.V., Astashkov N.P. Influence of longitudinal loads on traffic safety during operation on mountain pass sections of the track // Bulletin of the Rostov State Transport University. 2021. No. 2 (82). P. 104-111. DOI: 10.46973/0201-727X_2021_2_104.
9. Ermolenko I.Yu., Zheleznyak V.N. Study of the dynamics of rolling stock using an experimental laboratory car when moving along difficult sections of the East Siberian Railway // Modern technologies. System analysis. Modeling. 2016. No. 4(52). P. 199-203.
10. Ermolenko I.Yu., Zheleznyak V.N., Rychkov N.P. Analysis of the efficiency of brake pads depending on the degree of their wear based on the results of train tests in a laboratory car // Transport infrastructure of the Siberian region. 2017. Vol.2, pp. 492-495.
11. Galai E.I., Galai E.E. Brake systems of railway transport. Design of brake equipment: a tutorial. Belarusian State University of Transport. Gomel: BelSUT, 2010. 315 p.
12. Shakina A.V., Fadeev V.S., Shtanov O.V. Metal-ceramic brake shoe with increased wear resistance // Proceedings of the international scientific and practical conference "Transport-2015". 2015. Vol.2. pp.287-289.
13. Shakina A.V., Fadeev V.S., Shtanov O.V. Wagon brake shoes with increased wear resistance // Bulletin of the Institute of Natural Monopolies Problems: Railway Engineering. 2014. No. 4 (28). P. 66-69.
14. Emelyanov, D.O., Ivanov P.Yu., Dulskey E.Yu. Innovative Method for Determining the Friction Coefficient in the "Shoe - Wheel" System // Transsib News. 2022. No. 3(51). P. 99-112.
15. Fedorov E.V., Laptev S.I. Analysis of the automatic properties of freight train brakes // Proceedings of the International Scientific and Technical Conference "Innovative Transport-2016", dedicated to the 60th anniversary of the foundation of the Ural State Transport University. 2017. P. 291-297.

Информация об авторах

Сизых Сергей Леонидович – студент гр. ПСЖ 6-20,1 кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: sergsiz13@gmail.com.

Рычков Николай Павлович – кандидат технических наук, доцент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: rychkov_np@irgups.ru.

Information about the authors

Sizykh Sergey Leonidovich – Student, Department of «Cars and carriage facilities», Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: sergsiz13@gmail.com.

Rychkov Nikolai Pavlovich – Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor of the Department «Cars and carriage facilities», Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: rychkov_np@irgups.ru.