

Д.П. Дроняк, Н.В. Писчасов, И.Ю. Ермоленко

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

ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ АВТОСЦЕПНЫХ УСТРОЙСТВ ВАГОНОВ В ЭКСПЛУАТАЦИИ

Аннотация. В статье приведен анализ технического состояния автосцепных устройств в эксплуатации. Рассмотрена конструкция новой автосцепки типа СА-3Т для тяжеловесного движения в сравнении с автосцепками СА-3 и СА-3М. Проведено исследование продольных сил, действующих на автосцепку при неустановившихся режимах движения и маневровых работах (ударные воздействия), оценено напряженно-деформированное состояние корпуса рассматриваемых автосцепок.

Ключевые слова: автосцепка СА-3, автосцепка СА-3Т, продольная динамика поезда, ударные воздействия, неустановившиеся режимы ведения поезда, безопасность движения.

D.P. Dronyak, N.V. Pischasov, I.Yu. Ermolenko

Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

ASSESSMENT OF THE TECHNICAL CONDITION OF AUTOCOUPLE DEVICES OF CARS IN OPERATION

Abstract. The article provides an analysis of the technical condition of automatic couplers in operation. The design of a new automatic coupler of the SA-3T type for heavy traffic is considered in comparison with the automatic couplers SA-3 and SA-3M. A study of the longitudinal forces acting on the automatic coupler under unsteady modes of motion and shunting operations (shock impacts) was carried out, the stress-strain state of the body of the automatic couplers under consideration was assessed.

Key words: SA-3 automatic coupler, SA-3T automatic coupler, train longitudinal dynamics, shock effects, unsteady train driving modes, traffic safety.

Введение

В эксплуатации достаточно часто встречаются случаи повреждения и чрезмерного износа деталей автосцепного оборудования, которые нарушают нормальную и безопасную эксплуатацию подвижного состава. Высокая повреждаемость деталей автосцепного устройства объясняется их работой под постоянным воздействием больших переменных ударно-тяговых усилий, износами из-за трения деталей. Сложность технического обслуживания этих деталей обусловлена их расположением в скрытых для визуального осмотра местах. Не выявленные своевременно износы приводят к саморасцепу автосцепок или падению поврежденных деталей на путь, вызывая угрозу схода подвижного состава с рельсов.

Анализ технического состояния автосцепного устройства в эксплуатации

В качестве источников информации о состоянии автосцепных устройств использовались базы данных Главного вычислительного центра ОАО «РЖД», получены данные о поступлении грузовых вагонов в текущий отцепочный ремонт (ТОР) с распределением по основным узлам и годам (табл. 1).

Из таблицы 1 видно, что в 2020 году по сравнению с 2019 годом произошло увеличение количества поступлений в ТОР по автосцепному устройству на 10,0 %, а также рамы вагона на 31,6 %, что свидетельствует о необходимости проведения исследований по совершенствованию его конструкции и технологии ТОиР. Как видно из таблицы 1 неисправности автосцепных устройств в 2020 году возросли на 10,0 %, что возможно свидетельствует о недостаточно высоком качестве ремонта в депо.

Количество поступлений вагонов в ТОР с распределением по узлам грузовых вагонов по всей сети железных дорог

Основные узлы грузовых вагонов	Количество отцепок в ТОР, тыс.		
	2018	2019	2020
Колёсная пара	530,0	534,2	542,8
Буксовый узел	36,4	35,2	33,4
Тележка	239,0	241,1	220,6
Автосцепное оборудование	25,9	31,03	40,0
Автотормозное оборудование	44,5	42,6	41,0
Кузов	424,8	406,3	442,2
Рама	29,1	27,9	42,1
Прочие отцепки	2,16	2,23	6,9
Итого	1331,9	1320,6	1349

По статистическим данным из таблицы 1 на сети железных дорог было выявлено 40,0 тыс. неисправностей автосцепных устройств, которые могут вызвать нарушения нормального действия хода автосцепки, а при определенных неблагоприятных условиях привести к саморасцепу автосцепок или излому отдельных деталей.

Детали автосцепного устройства в процессе работы подвергаются сложному силовому воздействию, в результате чего в элементах возникают всевозможные деформации: растяжения, сжатия, изгиба и кручения.

Анализ технического состояния сборочных единиц автосцепного устройства показывает, что все износы и повреждения можно разделить на две группы: естественные, постепенные износы, появляющиеся при нормальном взаимодействии деталей (рис. 1); внезапные, аварийные повреждения, возникающие в результате действия дополнительных внешних факторов или наличия скрытых дефектов технологического происхождения (рис. 2).



Рис. 1. Неисправность упорной плиты

Одним из примеров является износ опорной поверхности упорной плиты. Упорная плита считается негодной, если толщина ее в средней части менее 55 мм при капитальном ремонте и менее 53 мм при остальных видах периодического ремонта подвижного состава. Плита с трещиной подлежит замене. После ремонта толщина плиты должна быть 58-59 мм.

Поверхности с большим износом должны быть восстановлены наплавкой с последующей обработкой. Вместо наплавки разрешается приваривать планки соответствующих размеров при износе более 5 мм.

Все внезапные повреждения можно разделить на две группы: хрупкий и усталостный изломы. Явления хрупкого разрушения происходят в результате отрицательного влияния внутренних концентраторов напряжений, воздействия низких температур при недостаточной ударной вязкости стали, а также в результате старения металла.

Одним из примером является случай на участке Утай-Тулун при осмотре состава поезда локомотивной бригадой выявлен обрыв второй по ходу движения автосцепки по старой трещине.

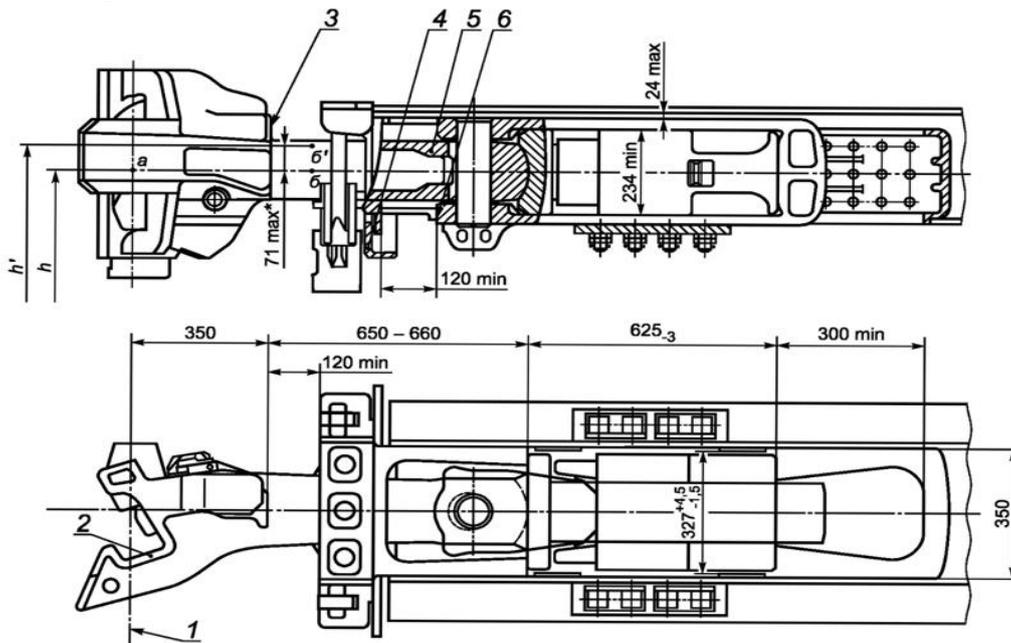


Рис. 2. Обрыв автосцепки на участке Утай-Тулун

Особенности конструкции автосцепок нового поколения

Внедрение тяжеловесного грузового движения входит в число задач «Стратегии развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года» [1], как одно из приоритетных направлений, позволяющих повысить эффективность работы железных дорог. Перечень основных направлений для научных исследований и конструкторских разработок, обеспечивающих создание грузовых вагонов для тяжеловесного движения, был сформулирован на основе анализа вариантов развития вагоностроения еще в 2013 г. В числе необходимых мер были выявлены разработка и внедрение новой автосцепки с увеличенной по вертикали областью сцепления.

Ограничение вертикальной области сцепления автосцепки СА-3 [2-3] не позволяет уменьшить жесткость подвешивания тяжеловесного грузового вагона, что в свою очередь необходимо для выполнения требований ГОСТ Р 55050-2012, устанавливающего нормы воздействия на железнодорожный путь. В рамках комплекса научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ специалистами ООО «ВНИЦТТ» разработаны автосцепка модели СА-3Т (рис. 3), а также конструкции и технологии изготовления комплекта деталей и узлов автосцепного устройства для применения в составе тяжеловесного грузового вагона. В АО «Тихвинский вагоностроительный завод» (ТВСЗ) освоено производство содержащихся в автосцепном устройстве ответственных литых деталей [4].



1 – плоскость зацепления автосцепки; 2 – контур зацепления автосцепки по ГОСТ 21447; 3 – упор головы корпуса автосцепки; 4 – нижняя перемычка переднего упора; 5 – хвостовик корпуса автосцепки; 6 – торцевая поверхность тягового хомута

Рис. 3. Основные размеры автосцепного устройства типа СА-3Т

Конструкция автосцепки СА-3Т [5] позволяет расширить вертикальную область надежного сцепления на 70 мм в сравнении с автосцепкой СА-3. Основные конструктивные изменения коснулись корпуса: для увеличения контура вертикального зацепления смежных автосцепок корпус автосцепки СА-3Т обладает увеличенным до 510 мм по высоте малым и уменьшенным до 170 мм большим зубьями. Одновременно на соответствующую величину развита высота замка. Остальные детали механизма сцепления автосцепки СА-3Т аналогичны конструкции автосцепки СА-3.

Наряду с расширенными функциональными характеристиками, автосцепка СА-3Т обладает увеличенными прочностью и ресурсом. Тяговые поверхности большого и малого зубьев корпуса и замыкающая поверхность замка изготавливаются с применением технологии поверхностной закалки, повышающей износостойкость.

Особенности конструкции автосцепок СА-3Т в сравнении с СА-3 и СА-3М

Автосцепки СА-3Т и СА-3М отличаются от СА-3 повышенной прочностью. Конструкция автосцепки СА-3Т, в отличие от автосцепок СА-3 и СА-3М, имеет замок, увеличенной высоты (обеспечивает сцепление при разнице продольных осей до 210 мм). В замке СА-3М была введена шарнирно закреплённая вставка, обеспечивающая увеличение вертикальное зацепление до 250 мм вместо 150...180 мм у автосцепки СА-3.

Для увеличения контура вертикального зацепления смежных автосцепок корпус автосцепки СА-3Т обладает увеличенным до 510 мм по высоте малым и уменьшенным до 170 мм большим зубьями. Так же в СА-3Т, как и в СА-3М приварен ограничитель вертикальных перемещений, которого нет в СА-3. Это обеспечивает прохождение без саморасцепов горбов сортировочных горок. В отличие от СА-3 толщина стенок корпуса СА-3Т и СА-3М увеличена в среднем на 30%, здесь применены внутренние ребра, что повысило его надёжность. Все автосцепки взаимосцепляемые, но не взаимозаменяемые.

СА-3 клин тягового хомута имеет клиновидную форму, в нижней части имеются заплечики, которые удерживают его от выжимания вверх, упираясь в кромки отверстия хомута, затягивают двумя болтами длиной 145мм М20. В СА-3Т устанавливается цилиндрический валик вместо клина, так же, как и в СА-3М, но затягивается двумя болтами длиной 175мм М20, а в СА-3М валик удерживается от выпадения планкой, вдвигаемой в прорезь переднего упора.

Центрирующий прибор СА-3Т и СА-3М состоит из центрирующей балочки, пружины которой стянуты фиксаторами, и маятниковых подвесок. У СА-3 литая центрирующая балочка.

Упорная плита СА-3Т и СА-3М имеет сферическую опорную поверхность для хвостовика автосцепки, но у них отличаются размеры, а в СА-3 опорная поверхность выглядит в форме квадрата.

Тяговый хомут СА-3Т так же схож с тяговым хомутом СА-3М, но также отличаются размеры. Главное их отличие от СА-3 – это отверстие под клин тягового хомута, в СА-3 оно сделано в форме клина, а в СА-3Т и СА-3М в форме цилиндра. Так же, в тяговом хомуте СА-3М отсутствуют приливы под закрепления болтов, так как вместо них валик тягового хомута удерживается планкой.

Исследование продольных сил, действующих на автосцепку при неустановившихся режимах ведения поезда

Во время движения поезда и его формирования (при маневровой работе) в ударно-тяговых приборах возникают растягивающие или сжимающие продольные силы, величина и знак которых зависят от взаимодействия вагонов при различных режимах движения [6].

К переходным режимам поезда относят трогание с места, торможение, резкое изменение режима тяги, а также маневровые операции, сопровождающиеся соударениями вагонов.

Продольные силы в поезде при неустановившихся режимах движения могут существенно превосходить силы установившегося режима. Принципиальным отличием условия взаимодействия вагонов в поезде при переходном режиме являются относительные движения вагонов колебательного, а иногда и ударного характера. На рисунке 4 представлены

результаты расчета продольной сжимающей силы при движении поезда по ломаному профилю пути с различными подъемами, спусками и наличием кривых участков пути.

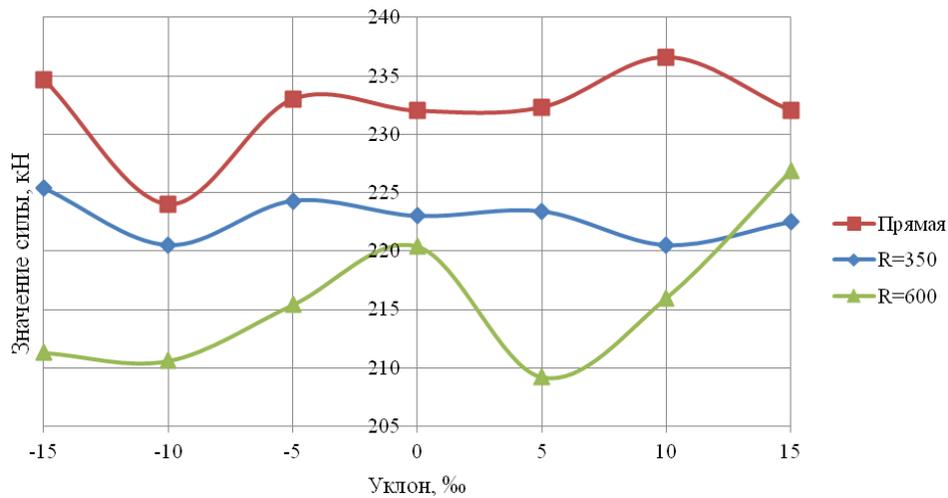


Рис. 4. Моделирование продольной сжимающей силы при неустановившихся режимах движения поезда

Продольная динамика поезда в значительной мере определяется качеством ударно-тяговых приборов, от них зависят исходы многих аварийных ситуаций [7].

Рассмотрим модель соударения двух вагонов (рис. 5), имеющих массы m_1 и m_2 и скорости движения V_1 и V_2 соответственно. Пусть $V_2 > V_1$, т.е. скорость набегающего вагона превышает скорость ударяемого на $\Delta V = V_2 - V_1$. Вследствие этой разности возникают соударение и сцепление вагонов.

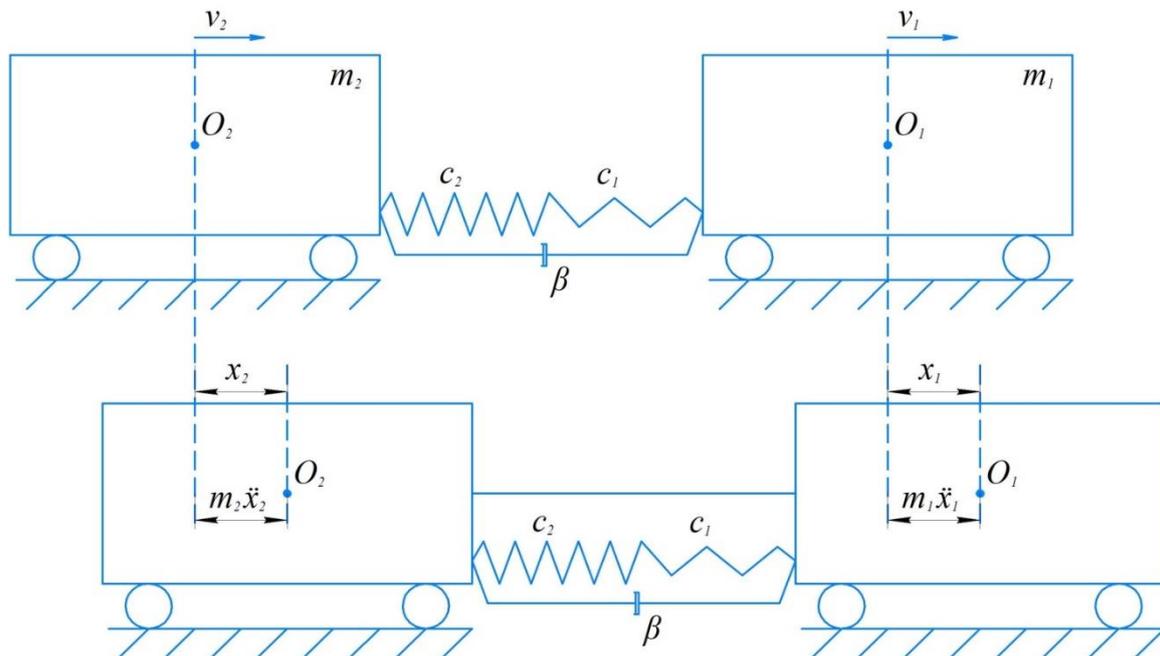


Рис. 5. Расчетная схема соударения вагонов

Уравнения движения вагонов с момента соприкосновения их сцепок будут иметь вид

$$\begin{cases} m_1 x_1'' - \left(\frac{c_1 c_2}{c_1 + c_2} \right) (x_2 - x_1) - Q = 0 \\ m_2 x_2'' - \left(\frac{c_1 c_2}{c_1 + c_2} \right) (x_2 - x_1) - Q = 0 \end{cases} \quad (1)$$

где m_1, m_2 – массы вагонов; c_1, c_2 – жесткости упругих элементов; x_1, x_2 – координаты перемещения вагонов; Q – сила трения.

Решая систему дифференциальных уравнений, получим силу взаимодействия между вагонами

$$F = |m_1 \ddot{x}_1| = |m_2 \ddot{x}_2| = C_3 z + Q = \frac{C_3}{b} \Delta V \sin bt + Q \cos bt \quad (2)$$

Полученные формулы перемещений и сил для простейших моделей соударения вагонов позволяют осуществить инженерные оценки предусмотренных ГОСТом [8] напряженно-деформированного состояния корпуса автосцепки, представленного на рисунке 6.



а – корпус автосцепки СА-3Т; б – корпус автосцепки СА-3

Рис. 6. Распределение эквивалентных напряжений при центральной сжатии 3,5 МН

Заключение

В ходе проведенной работы был проведен обзор и анализ технического состояния автосцепных устройств грузовых вагонов. Исследованы особенности конструкции современных автосцепных устройств и проведено сравнение их с аналогами.

Проведено исследование ударных воздействий при соударениях вагонов и неустановившихся режимах ведения поезда, который показал что наибольшие напряжения в корпусе автосцепки СА-3 при центральной сжатии 3,5 МН возникают в зоне проушины хвостовика, что согласуется с данными по наиболее частым повреждениям. Напряжения в аналогичной зоне усиленного хвостовика существенно ниже. На основании этого можно сделать вывод о том, что пока не будут заменены все автосцепки СА-3 на СА-3Т, нужно сфокусироваться на разработке технических решений [9-10], направленных на выявление неисправностей автосцепок в области хвостовика, так как этот узел труднодоступен и скрыт в консольной части рамы вагона.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Распоряжение Правительства РФ от 17 июня 2008 г. № 877-р «Стратегия развития железнодорожного транспорта в Российской Федерации до 2030 года» [Электронный ресурс] // Официальный сайт Министерства транспорта Российской Федерации. URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/7/1010>.
2. Автосцепное устройство четырехосных вагонов. – Текст : электронный [Электронный ресурс] // Железнодорожный транспорт. URL: <http://www.aswn.ru/design/avtoscepnoedevise/avtodevice>.
3. ГОСТ 22703-2012. «Детали литые сцепных и автосцепных устройств железнодорожного подвижного состава. Общие технические условия» (с Изменением N 1, с Поправкой) [Электронный ресурс] // АО «Кодекс. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200095718>.
4. Савушкин Р.А., Орлова А.М., Кудрявцев Р.А., Пономарев С.А., Бройтман О.А., Безобразов Ю.А. Автосцепка СА-3Т для вагонов тяжеловесного движения: Особенности

конструкции и технологии изготовления // Вагоны и вагонное хозяйство. 2018. № 1 (53). С. 30-32.

5. ПНСТ 364-2019. «Устройство автосцепное с автосцепкой СА-3Т грузовых вагонов железных дорог колеи 1520 мм. Технические условия». – М.: Стандартинформ, 2019. – 22 с.

6. Ромен Ю.С., Мугинштейн Л.А., Неверова Л.И. Влияние продольных сил в поездах на опасность схода вагонов в зависимости от их загрузки // Журнал «Транспорт Российской Федерации». 2013. №3 (46). С. 64-68.

7. Вагоны. Основы конструирования и экспертизы технических решений: Учебное пособие для вузов ж.-д. транспорта / Под ред. В.Н. Котуранова. – М.: Маршрут, 2005. – 409 с.

8. ГОСТ 33211-2014. «Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам». – М.: Стандартинформ, 2016. – 57 с.

9. Ermolenko I.Yu., Zheleznyak V.N. Methodology for evaluating of the interaction of wagons and path on the mountain-gorge areas // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 760 (2020) 012020 IOP Publishing.

10. Патент № 2689089 Российская Федерация. МПК В61G 3/00. Способ контроля технического состояния автосцепки вагона при текущем осмотре: № 2018125119 : заявл. 09.07.2018 : опуб. 23.05.2019 / Железняк В.Н., Ермоленко И.Ю., Мартыненко Л.В., Воронова Ю.В., Санникова Е.Г.

REFERENCES

1. Order of the Government of the Russian Federation of June 17, 2008 No. 877-r "Strategy for the development of railway transport in the Russian Federation until 2030" [Electronic resource] // Official website of the Ministry of Transport of the Russian Federation. URL: <https://mintrans.gov.ru/documents/7/1010>.

2. Automatic coupler for four-axle wagons. – Text: electronic [Electronic resource] // Railway transport. URL: <http://www.aswn.ru/design/avtoscepnnoedevise/avtodevise>.

3. GOST 22703-2012. Detali lityye stsepynykh i avtostsepynykh ustroystv zheleznodorozhnogo podvizhnogo sostava. Obshchiye tekhnicheskiye usloviya [Cast parts for coupling and automatic couplers of railway rolling stock. General technical conditions] (with Amendment No. 1, as amended) [Electronic resource] // JSC "Kodeks. URL: <http://docs.cntd.ru/document/1200095718>.

4. Savushkin R.A., Orlova A.M., Kudryavtsev R.A., Ponomarev S.A., Broitman O.A., Bezobrazov Yu.A. Avtostsepka SA-3T dlya vagonov tyazhelovesnogo dvizheniya: Osobennosti konstruktsii i tekhnologii izgotovleniya [Automatic coupler SA-3T for heavy-haul carriages: Features of design and manufacturing technology] // Wagons and carriage economy. 2018. No. 1 (53). pp. 30-32.

5. ПНСТ 364-2019. Устройство автостseпное с автостseпкой СА-3Т грузовых вагонов железных дорог колеи 1520 мм. Технические условия [Auto coupler with automatic coupler SA-3T for freight cars of 1520 mm gauge railways. Specifications]. - М.: Стандартинформ, 2019. 22 p.

6. Ромен Ю.С., Мугинштейн Л.А., Неверова Л.И. Влияние продольных сил в поездах на опасность схода вагонов в зависимости от их загрузки [Influence of longitudinal forces in trains on the risk of derailment of cars depending on their load] // Журнал "Транспорт Российской Федерации". 2013. №. 3 (46). pp. 64-68.

7. Wagons. Fundamentals of design and examination of technical solutions: Textbook for universities railway. transport / Ed. V.N. Koturanov. Moscow: Route, 2005. - 409 p.

8. ГОСТ 33211-2014. Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам [Freight wagons. Requirements for strength and dynamic qualities]. Moscow: Стандартинформ, 2016. – 57 p.

9. Ermolenko I.Yu., Zheleznyak V.N. Methodology for evaluating of the interaction of wagons and path on the mountain-gorge areas // IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 760 (2020) 012020 IOP Publishing.

10. Zheleznyak V.N., e.a., Sposob kontrolya tekhnicheskogo sostoyaniya avtostseпки vagona pri tekushchem osmotre [Method for monitoring the technical condition of the car automatic coupler during the current inspection]. Patent RF 2689089, 2019.

Информация об авторах

Дроняк Данила Петрович – студент гр. ЭТТп.1-18-1, кафедра «Вагоны и вагонное хозяйство», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: dendil17@mail.ru

Писчасов Никита Владимирович – студент гр. ЭТТп.1-18-1, кафедра «Вагоны и вагонное хозяйство», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: Nikita-210115@mail.ru

Ермоленко Игорь Юрьевич – к.т.н., доцент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: ermolenko_iy@list.ru

Information about the authors

Dronyak Danila Petrovich – student gr. ETTP.1-18-1, Department «Cars and carriage facilities», Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: dendil17@mail.ru

Pischasov Nikita Vladimirovich – student gr. ETTP.1-18-1, Department «Cars and carriage facilities», Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: Nikita-210115@mail.ru

Ermolenko Igor Yurievich – Ph.D. of Engineering Sciences, Associate Professor of the department «Cars and carriage facilities», Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: ermolenko_iy@list.ru