

*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
<b>Автосцепное оборудование</b>	<b>25,9</b>	<b>31,03</b>	<b>40,0</b>
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.

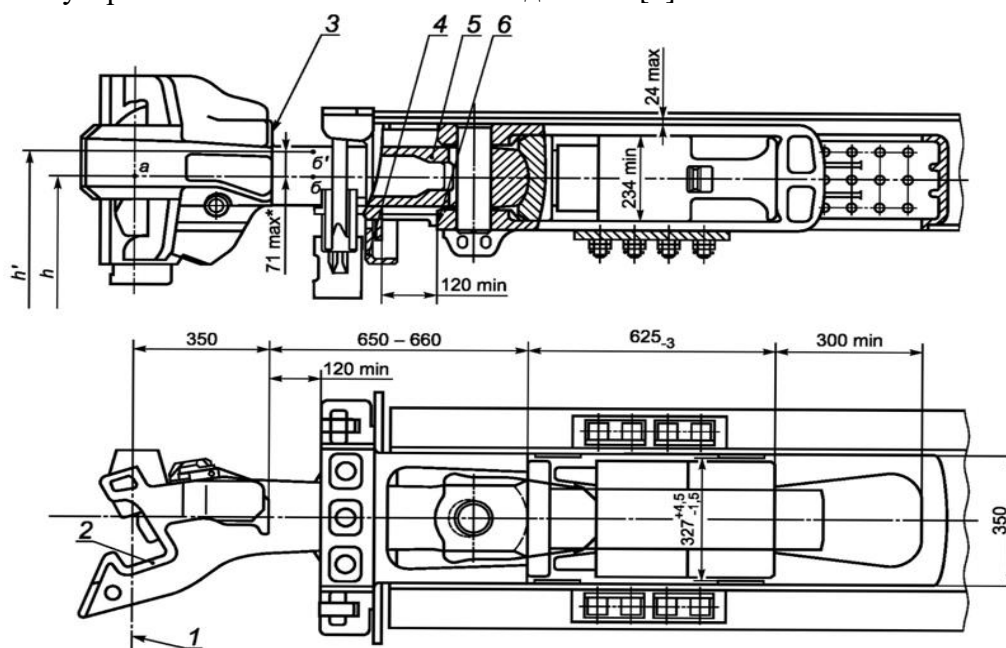


Рис. 2. Обрыв автосцепки на участке Утай-Тулун

### 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.

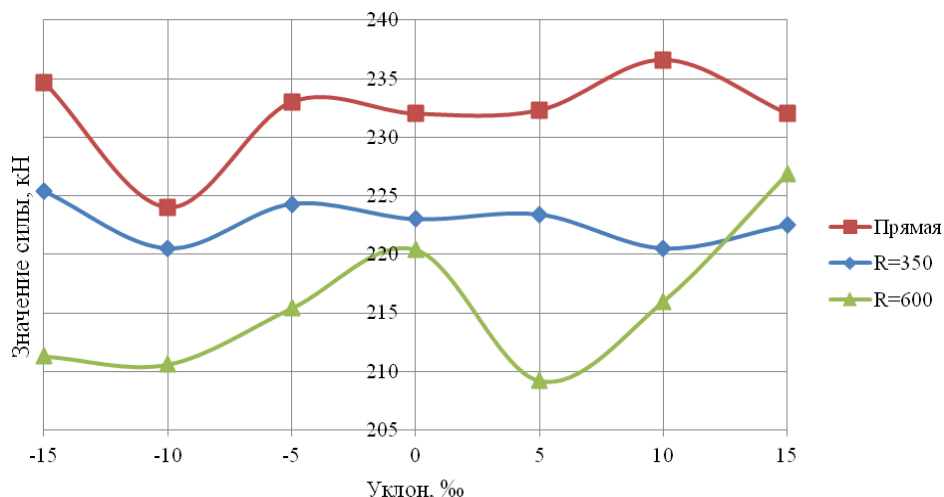


Рис. 4. Моделирование продольной сжимающей силы при неустановившихся режимах движения поезда

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.

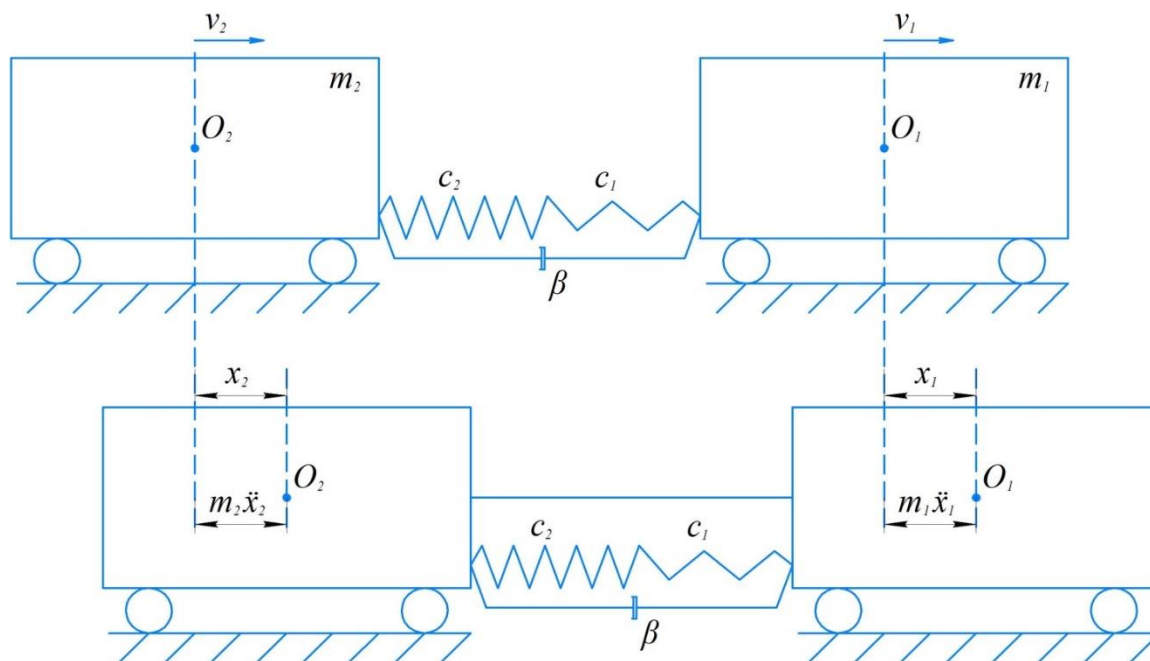


Рис. 5. Расчетная схема соударения вагонов

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 stsepykh i avtostsepykh 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. Avtostseпка 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](mailto: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](mailto: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](mailto: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](mailto: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](mailto: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](mailto:ermolenko_iy@list.ru)