

*Л.В. Мартыненко<sup>1</sup>, Ю.В. Воронова<sup>1</sup>, В.А. Иванова<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация*

## **ОЦЕНКА ОПАСНОСТИ СХОДА ВАГОНА В ОТДЕЛЬНЫХ КЛАССАХ СИСТЕМЫ «ЛОКОМОТИВ-ВАГОН-ПУТЬ»**

**Аннотация.** Оценка технического состояния системы «локомотив-вагон-путь» является основной задачей безопасности движения подвижного состава, особенно в кривых и горно-перевальных участках. В процессе движения состава действуют нагрузки, которые распределяются в соответствии с техническим состоянием элементов данной системы. Безопасность движения подвижного состава оценивается не только по состоянию системы, но и в отдельных классах, которые изначально оценивают опасность отклонений в каждом классе отдельно. Разработка методики определения причин сходов, позволяет определить доли участия каждого класса при сходе подвижного состава. Данная методика основывается на анализе конкретных сходов в каждом классе «локомотив», «вагон» и «путь» и основывается на количественном и качественном анализе контролируемых параметров каждого класса. Данные получают с помощью специализированных вагон-лабораторий и оборудования, которое фиксирует отклонения в данном классе отдельно.

После обработки данных, происходит сравнение с нормативными параметрами и, соответственно, определяют степень опасности для движения подвижного состава. Ранжирование наиболее опасных отклонений происходит по степеням и техническим параметрам в каждом классе системы. Применение данной методики позволяет выявлять опасные факторы, основанные на их ранжировании и оценке опасности схода подвижного состава.

Оценка опасности схода подвижного состава производится как в одном классе, так и сочетается с отклонениями другого класса. Особое внимание уделяется горно-перевальным участкам, которые увеличивают долю опасности схода при отклонениях в отдельных классах системы «локомотив-вагон-путь».

**Ключевые слова:** система «локомотив-вагон-путь», безопасность движения, классы системы, методика определения причин сходов, опасность отклонений, вагон-лаборатория, количественный и качественный анализ, ранжирование отклонений, оценка опасности схода.

*L.V. Martynenko<sup>1</sup>, Yu.V. Voronova<sup>1</sup>, V.A. Ivanova<sup>1</sup>*

<sup>1</sup>*Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russian Federation*

## **ASSESSMENT OF THE RISK OF A CAR DERAILMENT IN CERTAIN CLASSES OF THE LOCOMOTIVE-CAR SYSTEM-WAY»**

**Abstract.** The assessment of the technical condition of the locomotive-wagon-track system is the main task of the safety of rolling stock movement, especially in curves and mountain-pass sections. During the movement of the train, loads are applied, which are distributed in accordance with the technical condition of the elements of this system. The safety of rolling stock is evaluated not only by the state of the system, but also in separate classes, which initially assess the risk of deviations in each class separately. The development of a methodology for determining the causes of convergences makes it possible to determine the share of participation of each class in the convergence of rolling stock. This methodology is based on the analysis of specific convergences in each class "locomotive", "wagon" and "track" and is based on a quantitative and qualitative analysis of the controlled parameters of each class. The data is obtained using specialized car laboratories and equipment that records deviations in this class separately. After processing the data, a comparison is made with the standard parameters and, accordingly, the degree of danger to the movement of rolling stock is determined. The most dangerous deviations are ranked by degrees and technical parameters in each class of the system. The application of this technique allows to identify dangerous factors based on their ranking and assessment of the risk of derailment of rolling stock. The risk of derailment of rolling stock is assessed both in one class and in combination with deviations of another class. Special attention is paid to mountain-pass sections, which increase the risk of derailment in case of deviations in certain classes of the locomotive-wagon-track system.

**Keywords:** system "locomotive-wagon-way", traffic safety, system classes, methodology for determining the causes of derailments, danger of deviations, car-laboratory, quantitative and qualitative analysis, ranking of deviations, assessment of the danger of derailments.

## **Введение**

С увеличением роста объёмов железнодорожных перевозок, увеличилась нагрузка на подвижной состав и путь в целом, так как система «локомотив-вагон-путь», работает как единое целое. Существенную роль в обеспечении безопасности движения уделяется нагрузкам, распределение которых влияет на устойчивость вагона в целом. Повышенная нагрузка на детали вагона и пути увеличили количество отказов в процессе эксплуатации. Данное увеличение привело к ухудшению технического состояния системы «локомотив-вагон-путь» и повлияло на тенденцию роста количества сходов грузовых вагонов в кривых и горно-перевальных участках пути. В частности, по данным расследований аварийных ситуаций количество сходов вагонов в таких участках, вследствие различных отклонений состояния системы, обеспечивающей безопасность движения от нормативных параметров за период 2015-2020 гг., увеличилось более чем вдвое.

### **Методика определения причин сходов подвижного состава**

В связи со сказанным существенное значение приобретает оценка опасности различных отклонений системы «локомотив-вагон-путь», а также совершенствование методики расследования причин возникновения аварийных ситуаций, возникающих в процессе эксплуатации подвижного состава, особенно в кривых и горно-перевальных участках.

Рассматривается проблема последующего выявления в этой системе наиболее опасных повреждений и разбивки на отдельные классы для установления причины внутри системы. Данная методика направлена на повышение безопасности движения в кривых и горно-перевальных участках. В настоящее время расследование причин схода является основной задачей ОАО «РЖД».

Возникновение повреждений и аварийных ситуаций в системе «локомотив-вагон-путь», указывает на подход недостаточно проработанный, который в полной мере оказывает влияние на безопасность перевозок. Многие отклонения не рассматривают в сочетании с другими классами данной системы. Недостаточно полно изучено также степень опасности различных отклонений от нормативного состояния элементов системы «локомотив-вагон-путь» при движении в горно-перевальных участках. В частности, недостаточно полно оценена степень опасности непогашенного поперечного ускорения, возникающего при движении состава в таких участках (уклон пути 8-25‰), степень опасности просадки пути в сочетании со скоростным режимом, нарушение нормы возвышения наружного рельса в кривом участке пути и т.д. Недостаточно разработаны и рекомендации по предотвращению и устранению данных отклонений. Методика определения причин сходов позволяет оценить опасность отклонений во всей системе «локомотив-вагон-путь».

Развитие данного направления по оценке опасности, как отдельных неисправностей внутри каждого класса, направлено на уменьшение причин возникновения аварийных ситуаций и повышение безопасности движения, особенно в кривых и горно-перевальных участках пути. В процессе этой оценки осуществлялось предварительное разделение всех причин схода на классы: причины, связанные с режимом движения локомотива, причины связанные с состоянием пути, а также причины, связанные с состоянием вагона. Для выявления наиболее вероятных причин схода, относящихся к определённому классу причин, использовалась евклидова мера отклонений характеристик рассматриваемых систем от нормативных параметров. Полученные характеристики технического состояния системы «локомотив-вагон-путь» использовались далее для расчётной оценки отклонений параметров, рассматриваемых систем, обеспечивающих безопасность движения состава от нормативного и определение наиболее вероятного класса причин конкретного схода, а также разработки на этой основе рекомендаций, направленных на повышение безопасности движения подвижного состава в кривых и горно-перевальных участках.

### **Оценка опасности схода вагона в отдельных классах системы «локомотив-вагон-путь»**

Для практики эксплуатации существенный интерес представляет оценка опасности непогашенных поперечных ускорений вагонов, ведущих к их сходам. Действующая норматив-

ная документация в случае грузовых вагонов ограничивает величину непогашенных ускорений значением  $0,3\text{ м/с}^2$ . В качестве одного из факторов, определяющих меру близости системы «локомотив-вагон-путь» к нормативному состоянию, в данной работе учитывалась величина превышения относительно действующего нормативного ограничения непогашенного ускорения величиной  $0,3\text{ м/с}^2$ . Фактические значения непогашенных поперечных ускорений, определяемых величинами скорости движения состава, возвышением наружного рельса над внутренним и кривизной пути в зависимости от возникающих в кривых центробежных сил, превышают допустимое нормативное значение. Это обстоятельство должно быть учтено при расчётной оценке отклонения меры близости системы «локомотив-вагон-путь» от нормативного. Реализация подхода, основанного на оценке меры близости системы «локомотив-вагон-путь» к нормативному состоянию в зависимости от отклонений эксплуатационных характеристик движения состава требует знания их фактических значений. В таблице 1 приведены значения основных характеристик указанного движения, соответствующих событию схода вагонов на различных участках ВСЖД. Обработка приведённых данных позволила выявить наиболее опасные сочетания отклонений системы «локомотив-вагон-путь», приводящих к сходу вагонов.

Следующий класс «путь» к нему относятся просадки, уширения, сужения и т.д. В частности, просадка пути 3-4 степени практически неизбежно ведёт к сходу при сохранении максимальной установленной скорости движения.

**Таблица 1–Технические характеристики участков схода**

№	Участок	Скорость, км/ч	Осевая нагрузка, кН	Непогашенное ускорение, $\text{м/с}^2$	Коэффициент горизонтальной динамики	Рамная сила, кН
1	Кешево-Таргиз	55	227,5	0,119	0,18	40,95
2	Нижнеудинск-Тайшет	78	229,3	0,44	0,249	57,1
3	Касьяновка-Половина	62	230,3	0,46	0,201	46,3
4	Талдан-Гудачи	49	230,3	0,29	0,162	37,31
5	Атамановка-Кручина	53	232,5	0,67	0,174	40,45
6	Танхой-Кедровая	77	215,8	0,43	0,246	53,1
7	Камарчага-Таежный	46	222,9	0,5	0,153	34,1
8	Залари-Тыреть	44	230,3	0,34	0,147	33,85
9	Камарчага-Балай	50	230,3	0,6	0,165	37,9
10	Делюр-Тыреть	65	230	0,37	0,21	48,36
11	Черная-Среднеилимская	58	230,3	0,95	0,189	43,5
12	Слюдянка-Ангасолка	51	225,4	0,62	0,168	37,86

Одной из основных причин схода вагона является превышение нормативного отклонения, рассмотрим на примере сочетаний отклонений в разных классах, например, крен кузова вагона и просадки пути. В приведённой таблице (табл.2) видно, что отклонение в содержании пути бывают разных степеней и при разных степенях устанавливаются определённые скорости. При 3 и 4 степени в сочетании с креном кузова происходит сход подвижного состава.

**Таблица 2. Величины степеней отступлений по уровню, перекосам и просадка**

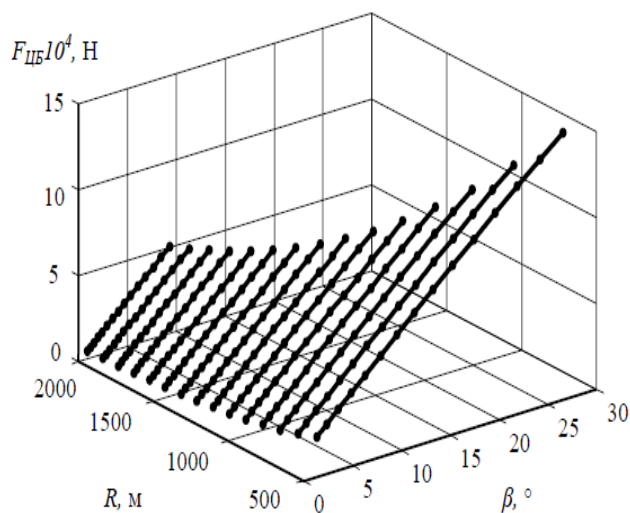
Скорость движения поездов (числитель – пассажирские; знаменатель – грузовые), км/ч	Степень отступления	Величина отступления, мм			
		Уровень	Перекос		Просадка
			1)		
121-140/81-90	I	6	8	8	10
	II	16	12	12	15
	III	20	16	16	20
	IV	<b>Более 20</b>	<b>&gt;16</b>	<b>Более 16</b>	<b>Более 20</b>
61-120/61-80	I	8	8	10	10
	II	20	13	16	20
	III	25	16	20	25
	IV	<b>Более 25</b>	<b>&gt;16</b>	<b>Более 20</b>	<b>Более 25</b>
41-60	I	10		12	12
	II	25		20	25

	III	30	25	30
	IV	Более 30	Более 25	Более 30
16-40	I	12	14	15
	II	30	25	30
	III	35	30	35
	IV	Более 35	Более 30	Более 35
15	I	15	16	18
	II	35	30	35
	III	50	50	45
ЗАКРЫВАЕТСЯ ДВИЖЕНИЕ Поездов	IV	Более 50	Более 50	Более 45

При расчётно-эмпирической оценке факторов схода на участке Камарчага–Таёжный, угол наклона кузова был равен  $30^{\circ}$ , что является большим, по сравнению с нормой. Углы наклона зависят от многих факторов и не должны превышать  $8^{\circ}$ . В представленной ниже таблице приведены сходы грузовых вагонов с углами наклона от  $9,02^{\circ}$  до  $51,78^{\circ}$ , что является подтверждением отклонений в одном из классов «вагона», а именно крен кузова, который явился опасным фактором, повлёкшим за собой сход вагонов.

Таблица 3. Углы наклона вагона относительно железнодорожного пути на разных участках сходов

№	Место схода	$\beta$
1	Кешево-Таргиз	9,02
2	Нижнеудинск-Тайшет	30,05
3	Касьяновка-Половина	31,75
4	Талдан-Гудачи	20,77
5	Атамановка-Кручина	41,54
6	Танхой-Кедровая	29,21
7	Камарчага-Таежный	33,36
8	Залари-Тыреть	24,66
9	Камарчага-Балай	37,88
10	Делюр-Тыреть	26,29
11	Черная-Среднеилимская	51,78
12	Слюдянка-Ангасолка	39,62



Воздействие грузового вагона на путь при относительно больших значениях непогашенного ускорения, когда возникают эффекты, обусловленные креном кузова и неровностями пути, что приводит к увеличению боковых сил. При неровностях пути в системе увеличивается вилания кузова, что приводит к отходу колеса от рельса.

Максимальное непогашенное ускорение, которое возникало в кривых, наблюдалось при малых длинах переходных кривых и радиусах от 300-650 м с профилем по подъёму от 7 до 9 промилле. При больших положительных значениях непогашенного ускорения крен кузова на рессорах может приблизиться к граничному значению, в случае превышения, происходит перевалка по пятнику с опиранием кузова на скользуны, в результате чего возникают поперечные силы. Наличие в этих условиях на наружной рельсовой нити односторонней просадки типа впадины или горба, как правило, вызывает увеличение сил взаимодействия. Отступление в плане различалось длиной волны, которая может варьироваться от минимальных до максимальных значений, сила удара (боковая сила) самая большая при минимальной длине неровности пути. При просадке в 25 мм и минимальной длине, сила удара настолько высока, что приводит к сходу подвижного состава. При прохождении подвижным составом по неровностям происходит разгрузка рессорного комплекта, которая вызывает колебания кузова, вследствие чего повышается нагрузка на наружный рельс. Это оказывает существенное влияние на величину и характер поперечных сил, действующих на подвижной состав, в данном случае они в 1,5-2 раза больше нормативных.

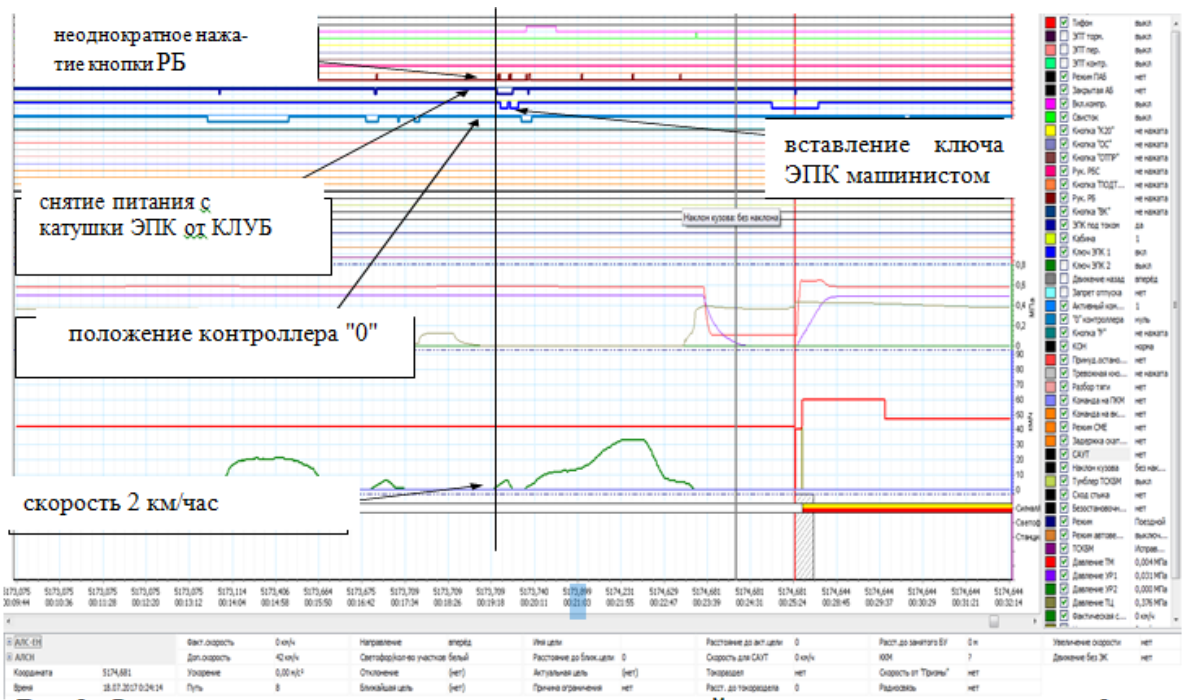


Рис. 3. Отклонения от нормативных показателей выявленные при расшифровке скоростемерных лент

Рассмотрено опасное влияние следующего класса «локомотива» при нарушении режима ведения подвижного состава. При расшифровке скоростемерных лент «локомотива» были выявлены нарушения. Выше приведена скоростемерная лента, на которой просматриваются нарушения в тормозной системе локомотива, данный скачок обозначает отклонение в тормозной магистрали. Расшифровка скоростемерной ленты, показала, что при маневрах скатывания в поездном режиме при скорости 2 км/ч контроллер был в положении «0» и снятия питания с катушки ЭПК от КЛУБ по белому огню локомотивного светофора. В данной ситуации было нарушение руководства по эксплуатации 36991-00-00 РЭ п.3.5.3.1 и отсутствовало включения «тяги» перед началом движения.

При таком режиме ведения подвижного состава в сочетании с наклоном кузова, может произойти потеря устойчивости вагона, относительно надрессорной балки тележки и произойдет его переваливание, при этом кузов обопрется на боковые скользуны. В зависимости от сочетания нагрузок кузов может начать взаимодействовать со скользунами тележки с наружной или внутренней по отношению к кривой стороны. Как показано на рис.4 дополнительная нагрузка от опирания вагона на боковые скользуны приводит к изменению сопротивления тележки повороту в кривой и к ухудшению вписывания вагона в кривую.

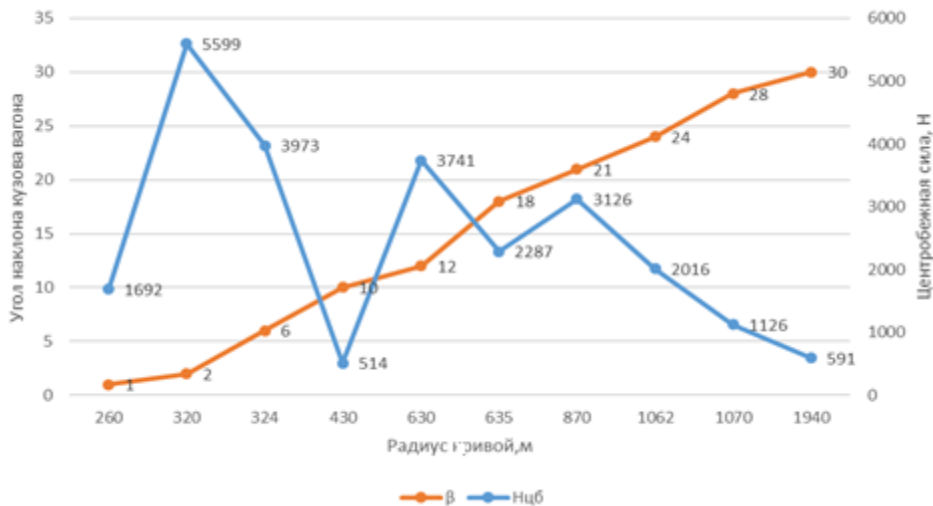


Рис. 4. Зависимость угла наклона кузова и центробежной силы от радиуса кривой

## Заключение

Развитие данной методики по оценке опасности отклонений системы «локомотив-вагон-путь», а также и отклонений внутри каждого класса, направлено на уменьшение причин возникновения аварийных ситуаций и повышение безопасности движения, особенно, в кривых и горно-перевальных участках пути. Полученные данные технического состояния системы использовались далее, для расчётной оценки по выявлению отклонений параметров внутри каждого класса, а также их сочетаний. Далее определялись наиболее опасные отклонения в классах, и их сочетаний, которые могли повлечь за собой сход подвижного состава, а также на этой основе разрабатывались рекомендации, направленные на повышение безопасности движения подвижного состава, особенно в кривых и горно-перевальных участках.

## БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Андриевский С. М. Боковой износ рельсов в кривых / С.М. Андриевский. – М.: Трансжелдориздат, 1961. – 65 с.
2. Балалаев С.В. Безопасность движения на железных дорогах. Ч.1. Основы безопасности: учеб. пособие. Хабаровск: Изд-во ДВГУПС, 2008. 125 с.
3. Быков Б.В. Конструкция тележек грузовых и пассажирских вагонов: Иллюстрированное учебное пособие.: Маршрут, 2004. — 36 с.
4. Вериго М.Ф. Динамика вагонов. М., 1971. 176 с.
5. Вериго М.Ф., Коган А.Я. Взаимодействие пути и подвижного состава. М.: Транспорт, 1986. 559 с.
6. Вершинский С.В., Данилов В.Н., Хусидов В.Д. Динамика вагона изд.3 1991. С. 360.
7. Гапанович В.А. Прогрессивные технологии обеспечения безопасности движения поездов и сохранности перевозимых грузов. М: Учеб.-метод. центр по образов. на ж.-д. трансп., 2008. 220 с.
8. Гарг В. К. Динамика подвижного состава / В. К. Гарг, Р. В. Дуккипати; [пер. с англ. К. Г. Бомштейна]; под ред. Н. А. Панькина. – Москва: Транспорт, 1988. – 392 с
9. Герасимов В. С., Скиба И. Ф., Кернич Б. М. и др.; Под ред. Герасимова В. С. — 2-е изд., перераб. и доп.— М.: Транспорт/, Технология вагоностроения и ремонта вагонов: Учебник для вузов, 1988—381 с.
10. Голубенко А.Л. Сцепление колеса с рельсом. К: 1993. 448 с.
11. Грузовые вагоны колеи 1520 мм железных дорог СССР: альбом. – Москва: Транспорт, 1982. – 111 с.
12. Давыдов А.Н. Влияние параметров боковых опор кузова на ходовые качества грузовых вагонов / А.Н. Давыдов // Транспорт Урала. – 2010. – № 2. – С. 27-29.
13. Крагельский И. В. Трение и износ / И.В. Крагельский. – М.: Машиностроение, 1968. – 480 с.
14. Криворудченко В. Ф., Ахмеджанов Р. А. Современные методы технической диагностики и неразрушающего контроля деталей и узлов подвижного состава железнодорожного транспорта: Учебное пособие для вузов ж-д транспорта / под ред. В. Ф. Криворудченко. – М.: Маршрут, 2005. – 436 с.
15. Лукин В.В., Анисимов П.С., Федосеев Ю.П. Вагоны. Общий курс, Москва 2004.
16. Лысюк В.С. Причины и механизм схода колеса с рельса. Проблема износа колес и рельсов. – М.: Транспорт, 2002. – 215 с.
17. Михальченко Г.С., Погорелов Д. Ю., Симонов В.А. Совершенствование динамических качеств подвижного состава железных дорог средствами компьютерного моделирования // Тяжелое машиностроение. 2003. № 12. С. 2–6.
18. Мямлин С.В. Моделирование динамики рельсовых экипажей / С.В. Мямлин. – Д. : Новая идеология, 2002. – 240 с.

## REFERENCES

1. Andrievsky S. M. Side wear of rails in curves / S. M. Andrievsky. - M.: Transzhel-dorizdat, 1961. - 65 p.
2. Balalaev S. V. Traffic safety on railways. Ch. 1. Osnovy bezopasnosti: ucheb. stipend. Khabarovsk: Publishing house of DVGUPS, 2008. 125 p.
3. Bykov B. V. Design of trucks of freight and passenger cars: Illustrated textbook.: Route, 2004. - 36 p.
4. Verigo M. F. Dynamics of wagons. M., 1971. 176 p
5. Verigo M. F., Kogan A. Ya. Interaction of track and rolling stock. M.: Trans-port, 1986. 559 p.
6. Vershinsky S. V., Danilov V. N., Khusidov V. D. Dynamics of the car ed. 3 1991. p. 360.
7. Gapanovich V. A. Progressive technologies for ensuring the safety of train traffic and the safety of transported goods. M: Ucheb. - method. center for education. on the railway transp., 2008. 220 p.
8. Garg V. K. Dynamics of rolling stock / V. K. Garg, R. V. Dukkipati; [trans. translated by K. G. Bomstein]; edited by N. A. Pankin. - Moscow: Transport, 1988 – - 392 p.
9. Gerasimov V. S., Skiba I. F., Kernich B. M., et al.; Ed. Gerasimova V. S.-2nd ed., reprint. and additional – M.: Transport/, Technology of car building and repair of cars: Textbook for universities, 1988-381 p.
10. Golubenko A. L. Coupling of the wheel with the rail. K: 1993. 448 p.
11. Freight cars of the 1520 mm gauge of the USSR railways: album. - Moscow: Trans-port, 1982. - 111 p.
12. Davydov A. N. Influence of parameters of side supports of a body on running qualities of cargo cars / A. N. Davydov // Transport of the Urals. - 2010. - No. 2. - pp. 27-29.
13. Kragelsky I. V. Friction and wear / I. V. Kragelsky. - M.: Mashinostroenie, 1968 – 480 p.
14. Krivorudchenko V. F., Akhmedzhanov R. A. Modern methods of technical diagnostics and non-destructive testing of railway rolling stock parts and assemblies: A textbook for railway transport universities / ed. by V. F. Krivorudchenko. - M.: Route, 2005. - 436 p.
15. Lukin V. V., Anisimov P. S., Fedoseev Yu. P. Wagons. General course, Moscow 2004.
16. Lysyuk V. S. Reasons and mechanism of wheel derailment. The problem of wheel and rail wear. - M.: Transport, 2002. - 215 p.
17. Mikhalchenko G. S., Pogorelov D. Yu., Simonov V. A. Improving the dynamic qualities of railway rolling stock by means of computer modeling // Heavy engineering. 2003. No. 12. pp.2-6.
18. Myamlin S. V. Modeling of the dynamics of rail crews / S. V. Myamlin. - D.: New Ideology, 2002. - 240 p.

### Информация об авторах

*Мартыненко Любовь Викторовна* – старший преподаватель кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: liuba.martinenko@yandex.ru

*Воронова Юлия Владиславовна* – к.т.н, доцент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: voronova\_uv@irgups.ru

*Иванова Вероника Андреевна* – магистрант группы ЭТТм 1-20-1, Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: ivanova-veronika-98@mail.ru

### Authors

*Lyubov Viktorovna Martynenko* – senior lecturer of the Department "Wagons and wagon economy", Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: liuba.martinenko@yandex.ru

*Yulia Vladislavovna Voronova* – Ph.D. of Engineering Sciences, associate Professor of the Department "Wagons and wagon economy", Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: voronova\_uv@irgups.ru

*Veronika Andreevna Ivanova* – master's degree student of Etm group 1-20-1, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: ivanova-veronika-98@mail.ru

#### **Для цитирования**

Мартыненко Л.В. Оценка опасности схода вагона в отдельных классах системы «локомотив-вагон-путь» [Электронный ресурс] / Л.В. Мартыненко, Ю.В. Воронова, В.А. Иванова // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. – 2021. – №1 (11). – Режим доступа: <http://mnv.irgups.ru/toma/111-2021>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ.

#### **For citation**

Martynenko L.V., Voronova Yu.V., Ivanova V.A. *Otsenka opasnosti skhoda vagona v otdel'nykh klassakh sistemy «lokomotiv-vagon-put'»* [Assessment of the risk of a car derailment in certain classes of the locomotive-car system-way]. *Molodaya nauka Sibiri: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal* [Young science of Siberia: electronic scientific journal], 2021, no. 1 (11).