

В.Н. Железняк¹, М.Г. Кушков¹, Ю.В. Крючкова¹, Л.В. Мартыненко¹, А.О. Панфилова¹

¹ Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, Российская Федерация

ОБЕСПЕЧЕНИЕ БЕЗОПАСНОСТИ ДВИЖЕНИЯ ПОДВИЖНОГО СОСТАВА В СИСТЕМЕ "ЛОКОМОТИВ-ВАГОН-ПУТЬ" В УСЛОВИЯХ ГОРНО-РЕЛЬЕФНОЙ МЕСТНОСТИ

Аннотация. Транспортная система Российской Федерации является неотъемлемой частью производственной и социальной инфраструктуры, которая обеспечивает её территориальную целостность и национальную безопасность. Железнодорожный транспорт в рамках России играет ключевую роль в социально-экономическом развитии, выполняя около 85% грузооборота и более 37% пассажирооборота.

В настоящее время наблюдается увеличение грузооборота во всех отраслях страны для этого необходимо решать вопросы увеличения пропускной способности. Рост объёмов перевозок грузового подвижного состава тесно связан с увеличением количества вагонов и их модернизации.

Замещение устаревшего парка вагонов на инновационные позволит повысить показатели потребительского качества; грузоподъёмности; скорости доставки; трудоёмкости разгрузочно-погрузочных работ.

Увеличение перевозочных работ привело к тому, что появился целый комплекс проблем, которые привели к увеличению сходов и крушений по сети железной дороги России и в частности на ВСЖД и Восточном полигоне. Для решения выше указанных проблем в исследовательской работе предлагаются меры, направленные на повышение безопасности движения подвижного состава за счёт рационального использования информации снятой с комплекса ходовых (поездных) экспериментальных лабораторий ВСЖД: тягово-энергетической; путеизмерительной; тормозоиспытательной; «колёсные пары и буксовый узел».

В статье рассмотрено взаимодействие системы "локомотив-вагон-путь", которая оценивает техническое состояние объектов в эксплуатации на ВСЖД и обеспечивает безопасность движения подвижного состава. Контроль осуществляется ходовыми (поездными) штатными вагон-лабораториями, которые контролируют состояние всей системы до схода и после события. В данной статье предложено совершенствование методики раскрытия сходов, их физической сущности, на примере, горно-перевальных участках Восточного полигона и ВСЖД в частности.

Ключевые слова: система "локомотив-вагон-путь", подвижной состав, вагон-лаборатория, раскрытие сходов, горно-перевальные участки ВСЖД, объекты эксплуатации, грузоподъёмность, скорость доставки, трудоёмкости разгрузочно-погрузочных работ, безопасность движения

V.N. Zheleznyak¹, Yu.V. Kryuchkova¹, L.V. Martynenko¹, A.O. Panfilova¹

¹ Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

ENSURING THE SAFETY OF ROLLING STOCK MOVEMENT IN THE "LOCOMOTIVE-WAGON-WAY" SYSTEM IN MOUNTAINOUS TERRAIN

Abstract. The transport system of the Russian Federation is an integral part of the industrial and social infrastructure that ensures its territorial integrity and national security. Railway transport within Russia plays a key role in social and economic development, performing about 85% of cargo turnover and more than 37% of passenger turnover.

At present, there is an increase in cargo turnover in all sectors of the country for this purpose, it is necessary to solve the issues of increasing capacity. The growth of freight rolling stock transportation is closely related to the increase in the number of wagons and their modernization.

Replacing an outdated fleet of railcars with innovative ones will increase the indicators of consumer quality; load capacity; delivery speed; and labor intensity of loading and unloading operations.

The increase in transportation operations has led to a whole range of problems that have led to an increase in derailments and crashes on the Russian railway network, and in particular on the VSZHD and the Eastern polygon. To solve the above-mentioned problems, the research work suggests measures aimed at improving the safety of rolling stock movement through the rational use of information removed from the complex of running (train) experimental laboratories of the VSZHD: traction and power; measurement; brake testing; "wheel pairs and a box unit".

The article considers the interaction of the "locomotive-wagon-way" system, which assesses the technical condition of objects in operation on the VSZHD and ensures the safety of rolling stock movement. Monitoring is carried out by running (train) regular car laboratories, which monitor the state of the entire system before the derailment and after the event. In this article, we propose to improve the method of disclosure of gatherings, their physical essence, for example, the mountain-pass sections of the Eastern polygon and the VSZHD in particular.

Keywords: locomotive-car-way system, rolling stock, laboratory car, opening of the exits, mining and transshipment sections of the VSZHD, objects of operation, load capacity, delivery speed, labor intensity of loading and unloading operations, traffic

Введение

В данной статье приведён широкий спектр проблем транспорта, который влияет на безопасность движения подвижного состава в целом и влечёт за собой непредвиденные последствия (сход). Для определения причин схода подвижного состава условно разделяем данное событие на: состояние и содержание рельсовой колеи; режимы ведения подвижного состава (особенно в кривых участках пути); технического состояния поверхности катания рельса и колеса (ползуны, выщербины); степени неисправности и технического состояния систем вагона (автосцепка, пятник-подпятниковых узлов, рессорного комплекта; буксовых узлов и др.). Данные технического состояния всех объектов можно объединить в одно целое: систему «локомотив–вагон–путь».

Для обеспечения безопасности движения и оценки состояния системы «локомотив–вагон–путь» на ВСЖД, с установленной периодичностью, контролируют объекты движения. Контроль осуществляется ходовыми (поездными) штатными вагон-лабораториями, находящимися в постоянной эксплуатации на ВСЖД. Проведённые исследования технического состояния подвижного состава поездными штатными вагон-лабораториями (тягово-энергетической; путеизмерительной; «колёсные пары и буксовый узел», показали, что взаимосвязь системы "локомотив-вагон-путь" являются основными звеньями в раскрытии физической сущности схода. Информация первоначально оценивается с постов безопасности и с электронных носителей информации (кассет) локомотива. Для более детального расследования причин отказов технических систем используют записи со всех вагон-лабораторий[1-4].

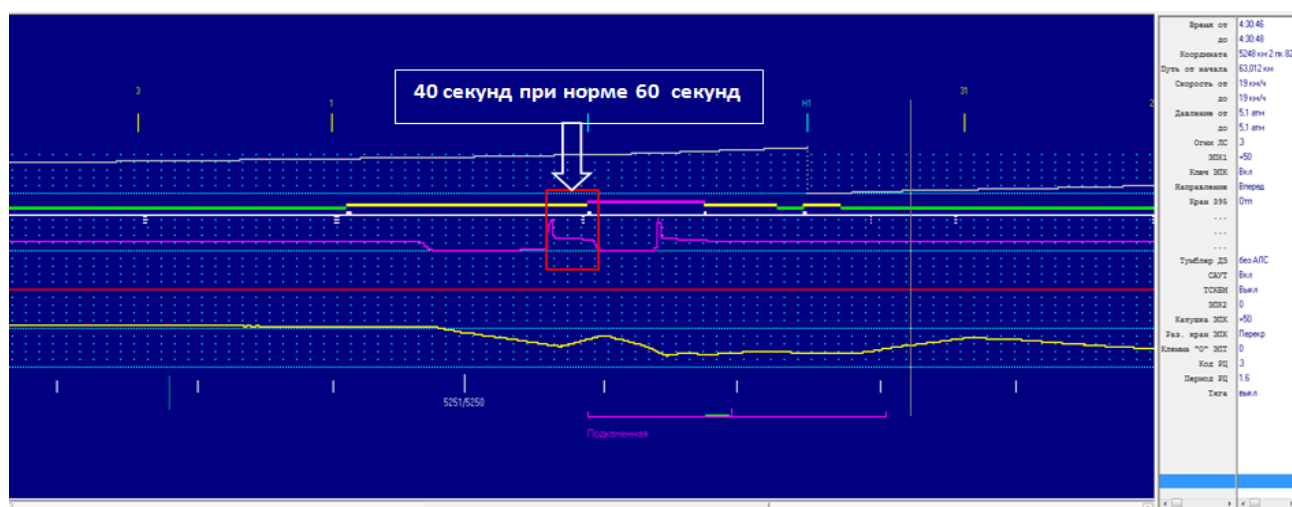


Рис. 1. Фрагмент скоростемерной ленты

На рисунке 1 приведен пример фрагмента скоростемерной ленты с выявленными нарушениями при ведении подвижного состава. Данная информация позволяет оценить влияние несоблюдения режима ведения подвижного состава на всю систему. Изменения динамики движения подвижного состава происходят в технической системе подвижного состава (автосцепные, тормозные, буксовые узлы), которые обеспечивает непрерывное взаимодействие системы «колесо-рельс» с верхним строением пути.

Полученная информация с магнитных накопителей (кассет регистрации) и лент (скоростемерные) анализируется. Взаимосвязи динамических характеристик системы «локомотив–вагон–путь» являются базовыми и эталонными для всего участка движения, так как они используются в дальнейшем для раскрытия причин схода. На рисунке 2 приведена многолетняя статистика сходов грузовых вагонов в горно-рельефной местности ВСЖД, которая имеет протяженность главного хода путей около 4000 км с 8 тысячами правых и

левых радиальных поворотов малых ($R250-350$ м), средних ($R400-700$ м) и пологих ($R800-1200$ м) участков пути.

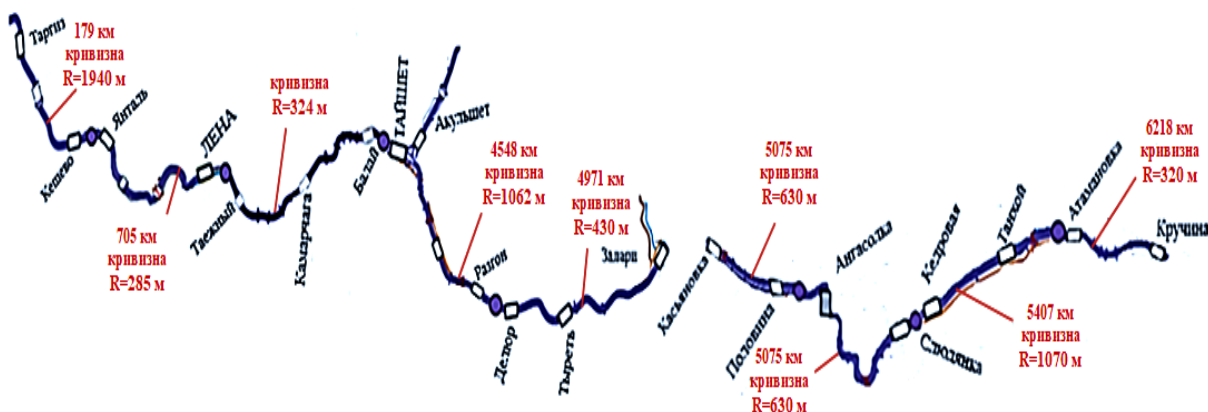


Рис. 2. Участки сходов

С данных радиальных участков пути получены параметры для исследования результатов динамики подвижного состава горного рельефа Восточного полигона. С учетом многолетних (2012-2020) наблюдений произошло более 80 сходов грузовых вагонов. Было подмечено, что большая часть сходов приходится на участок пути в переходной кривой. Рельсовая колея на участках пути, представляет в плане радиальную кривую, которую разделяют на участки конца прямой, переходной кривой и круговой кривой. Эта часть пути имеет ряд особенностей: увеличенную по сравнению с прямыми участками пути ширину колеи; возвышение наружного рельса над внутренним. Этими устройствами пути стремятся: обеспечить равенство вертикальных нагрузок от колес на оба рельса; уменьшить горизонтальные поперечные силы от гребней колес на рельсы; уменьшить вызванные движением по кривой горизонтальных поперечных ускорений. Сама переходная кривая представляет собой пространственную кривую, у которой плавно изменяется кривизна как в плане, так и в профиле. При переходе движущейся материальной точки из прямой в круговую кривую внезапно появляется центробежная сила. Для предотвращения ее резкого появления устраивают возвышение внешней рельсовой нити до 150 мм, в зависимости от радиуса и длины переходной кривой. Возвышение внешней рельсовой нити это искусственное действие направленное на нейтрализацию вредного влияния центробежных и центростремительных сил. В зависимости от их соотношения, на основании показателей безопасности движения и экспериментальных исследований величина непогашенных ускорений в диапазоне эксплуатационных скоростей назначена $0,3\text{ м/с}^2$ для грузовых вагонов и $0,7\text{ м/с}^2$ для пассажирских.

На рисунке 3 показан график соотношения центробежных сил к величине непогашенных ускорений, в конкретных 8 сходах, который построен по выбранным параметрам.

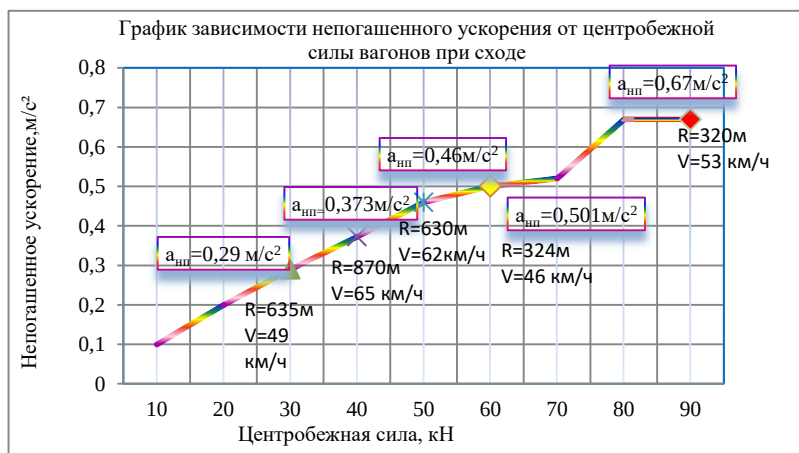


Рис. 3. График зависимости непогашенного ускорения от $H_{цб}$

Анализируя параметры сходов и их графическому представлению, необходимо отметить, что каждая точка соответствует величине непогашенного ускорения, скорости, радиуса и длине переходной кривой (рис.4). Большая часть сходов, которые рассматриваются в исследовательской работе произошли при не рекомендованных для эксплуатации значений непогашенного ускорения в диапазоне $0,3-0,67 \text{ м/с}^2$ и центробежной силы 10-90 Кн. Показательным и для подтверждения этих рассуждений рассмотрим пример схода Делюр-Тыреть [5-8].

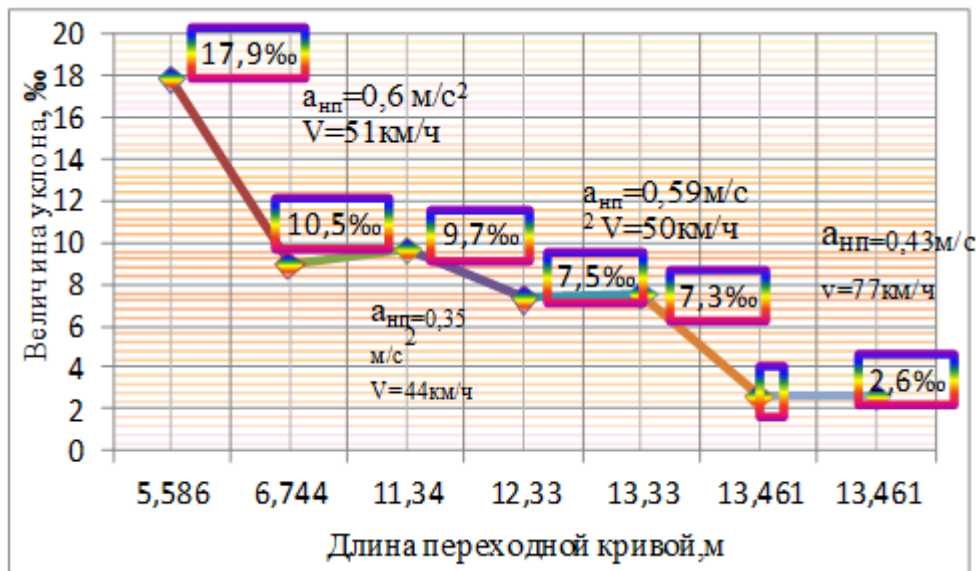


Рис.4. Участки сходов при малых длинах переходных кривых

Сход произошел в конце переходной кривой, предполагаем, что от центробежной силы, был удар гребня о боковую поверхность рельса, с последующим разрывом изолирующего стыка. Под действием боковой нагрузки, концевая часть рельса Р65, на длине 1,8м разрушилась на 8 частей, от крутящего момента и легла набок, выламывая последовательно подошву рельса под клеммными скреплениями. При этом на сошедшем колесе оторвало обод по кругу (рис.5, 6).



Рис. 5. Излом обода колеса

Рассматривая паспорт дистанции пути с привязкой к месту сходов установили для них длины переходных кривых, которые варьируются от 5-120 м. На рисунке 4 построен график с участков схода, который показал, что большая часть сходов произошла на малых длинах переходной кривой. Полагаем, что это связано с особенностью вхождения колёсной пары в круговую кривую с короткой переходной кривой. Именно этот участок пути и ему подобные наиболее подвержены созданию условий для вкатывания колеса на рельс и сходу [9-12].

Анализируя причины, приводящие к сходу подвижного состава, выявилась некоторая закономерность, что боковые удары гребня о рельс возникают на переходной кривой минимальной длины, 5-20 м.

Из выше сказанного вытекает, что важной задачей является разработка адекватных и эффективных мер предупреждения сходов. Полученная достоверная информация позволяет разработать предупредительные меры, направленные на повышение безопасности движения подвижного состава. Структура определения технических отказов приведших к сходу или крушению указывает на нарушения технологий ремонта или эксплуатации, которая выявляется в период расследования сходов. Не всегда в первый момент видны явные признаки причин схода подвижного состава и комиссия по служебному расследованию не может дать предварительного технического заключения без глубокого проведённого исследования. Бывает так, что делают вывод по одной технической неисправности, которая явно видна, но не является на самом деле причиной данного события [13-15]. В такие моменты определить виновную сторону сложно и самое главное причина схода остаётся нераскрытой. В данной работе проводимые исследования направлены на строгое и последовательное изучение возможных причин оказавших влияние на сход.



Рис. 6. Разрушившийся рельс со схода

Авторы исследования предлагают выстроить логическую цепочку силовых взаимодействий между системами «локомотив-путь-вагон», которые влияют на динамические показатели силовых факторов приведших к сходу, а именно сформулировать и уточнить математическую модель, которую авторы предлагают дополнить к уже известной формуле поиска силового фактора приведшего к сходу [16-18]. Для поиска фактора схода решается дифференциальное уравнение заданного вида.

$$d(C_i, K_j) = \sum_n (p_n - k_n)^2; \quad (1)$$

Любой сход A_i характеризуется несколькими параметрами – $c_1, c_2, c_3, \dots, c_n, \dots, c_N$ для каждого из классов причин сходов D_j . Для каждого класса причин D_j создается набор параметров («ядро класса»), при отступлении от которых происходит сход подвижного состава по одной из группы причин, соответствующей выбранному для них классу, а именно $d_1, d_2, d_3, \dots, d_n, \dots, d_N$. Для устранения влияния различного числа параметров в каждом классе причин схода усреднение получаемых сумм следует проводить путем деления мер близости на соответствующее число параметров в каждом классе m_j , т.е по формуле (2):

$$d(C_i, K_j) = \frac{\sum (p_n - k_n)^2 / k_n^2}{m_j}; \quad (2)$$

Заключение

Разработана методика определения наиболее вероятной группы причин схода подвижного состава в грузовых составах с рельсов на основе методов статистической

классификации. Методика предназначена для автоматизированного решения задачи выявления групп причин схода подвижного состава с рельсов, что будет способствовать повышению объективности отнесения причин схода на те объекты или технологические процессы, которые находятся в ведении определённых субъектов хозяйствования или их структурных подразделений.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Грачева Л.О., Певзнер В.О., Анисимов П.С. Показатели динамики и воздействия на путь грузовых четырехосных вагонов при различных износах тележек и отступлениях от норм содержания в прямых участках пути // Сб. науч. тр. ВНИИЖТ. Вып. 549. М.: Транспорт, 1976. С. 4-25.
2. Ромен Ю.С., Николаев В.Е. Исследование влияния детерминированных неровностей пути в плане на уровень боковых сил при движении грузового вагона // Проблемы механики железнодорожного транспорта. Киев: Наукова думка, 1980. С. 40-42.
3. Лысюк В.С. Причины и механизмы схода колеса с рельса. М: Транспорт, 2002. – 215 с.
4. Вериго М.Ф., Коган А.Я. Взаимодействие пути и подвижного состава. М.: Транспорт, 1986. – 560 с.
5. Ершков О.П. Расчет рельса на действие боковых сил в кривых // Тр. ЦНИИ МПС. Вып. 192. М.: Трансжелдориздат, 1960. С. 5-58
6. Желнин Г.Г., Певзнер В.О., Шинкарев Б.С. Исследование зависимостей между показателями динамики подвижного состава и воздействия его на путь // Тр. ВНИИЖТ. Вып. 542. М.: Транспорт, 1975. С. 84-92.
7. Гребенюк П.Т., Долганов А.Н., Некрасов О.А., Лисицын А.Л., Стромский П.П., Боровиков А.П., Чукова Т.С., Григоренко В.Г., Первушина В.М. Правила тяговых расчетов для поездной работы // М.: Транспорт, 1985. – 287 с.
8. Комиссаров А.Ф. Итоги работы проектно-конструкторского бюро вагонного хозяйства за 2018 г. // Вагоны и вагонное хозяйство. Приложение к журналу «Локомотив», М.: 2019. №1(49). С. 5-6.
9. Гозбенко В.Е. Вертикальные колебания экипажа с учётом неровности пути // В.Е.Гозбенко, А.А.Ахмадеева//Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2013г. – №3(13). С.56-59.
10. Жуков И.В. Автономное устройство регистрации расширяет возможности испытательных поездов (Вагон тормозоиспытательный) // Вагоны и вагонное хозяйство. Приложение к журналу «Локомотив», М.: 2019. №1(49). С. 40-41.
11. Лукин В.В., Анисимов В.Н., Котуранов В.Н. Конструирование и расчет вагонов: учебник – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: ФГОУ «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2011. – 688 с.
12. Кузович В.М. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по теме «Динамическая нагруженность специализированных вагонов в криволинейных участках пути». Москва, 2010, – 211 с.
13. Кудрявцева Н.Н. Динамические нагрузки ходовых частей грузовых вагонов // Тр. ВНИИЖТ. Вып. 572. М.: Транспорт, 1977. – 144 с.
14. Доронин И.С. Расчет шейки оси колесной пары на продольную нагрузку // Вестник ВНИИЖТ, 1978. С. 33-34.
15. Кудрявцев Н.Н. Исследования динамики неподдресоренных масс вагонов // Тр. ВНИИЖТ. Вып. 287. М.: Транспорт, 1965. – 168 с.
16. Шахуняц Г.М. Железнодорожный путь. Москва: Транспорт, 1987. – 479 с.
17. Скалов А.Д., Коваль В.А. Методика исследования вертикальных и боковых сил при износных испытаниях рельсов // Вестник ВНИИЖТ, 1980. № 6. – 216 с.
18. Рудановский В.М. Методика определения причин сходов подвижного состава в условиях неопределённостей// Вестник ВНИИЖТ, 2011. № 4. 10–15 с.

REFERENCES

1. Gracheva L. O., Pevsner V. O., Anisimov P. S. Indicators of dynamics and impact on the way of freight four-axle wagons at various wear of bogies and deviations from the norms of content in straight sections of the way // SB. nauch. Tr. VNIIZHT. Issue 549. M.: Transport, 1976. P. 4-25.
2. Romen Yu. S., Nikolaev V. E. Investigation of the influence of deterministic path irregularities in the plan on the level of lateral forces when moving a freight car // Problems of railway transport mechanics. Kiev: Naukova Dumka, 1980. Pp. 40-42.
3. Lysyuk V. S. Reasons and mechanisms of derailment of the wheel. M: Transport, 2002. 215 p.
4. Verigo M. F., Kogan A. Ya. Interaction of the track and rolling stock. Moscow: Transport, 1986. 560 p.
5. Yershkov O. p. Calculation of the rail on the action of lateral forces in curves // Tr. TSNII MP. Issue 192. Moscow: Transzheldorizdat, 1960. Pp. 5-58
6. Zhelnin G. G., Pevsner V. O., Shinkarev B. S. Investigation of dependencies between indicators of the dynamics of rolling stock and its impact on the path // Tr. VNIIZHT. Issue 542. Moscow: Transport, 1975. Pp. 84-92.
7. Grebenyuk P. T., Dolganov A. N., Nekrasov O. A., Lisitsyn A. L., Stromsky P. P., Borovikov A. P., Chukova T. S., Grigorenko V. G., Pervushina V. M. Rules of traction calculations for train work // Moscow: Transport, 1985. 287 p.
8. Komissarov A. F. Results of the work of the design Bureau of wagon economy for 2018 / Wagon and wagon economy. Appendix to the magazine "locomotive", Moscow: 2019. No. 1(49). P. 5-6.
9. Gozbenko V. E. Vertical vibrations of the crew taking into account the roughness of the path // V. E. Gozbenko, A. A. Akhmadeeva//Modern technology. System analysis. Models-2013. - no. 3(13).-P. 56-59.
10. Zhukov I. V. Autonomous registration device expands the capabilities of test trains (brake testing Car) // Wagon and wagon economy. Appendix to the magazine "locomotive", Moscow: 2019. No. 1(49). Pp. 40-41.
11. Lukin V. V., Anisimov V. N., Koturanov V. N. Design and calculation of wagons: textbook-2nd ed., reprint. and add. - M.: FGOU "Educational and methodological center for education in railway transport", 2011. - 688 p.
12. Kuzovich V. M. Dissertation for the degree of candidate of technical Sciences on the topic "Dynamic loading of specialized wagons in curved sections of the track". Moscow, 2010, 211 p.
13. Kudryavtseva N. N. Dynamic loads of running parts of freight cars // Tr. VNIIZHT. Issue 572. M.: Transport, 1977. 144 p.
14. Doronin I. S. Calculation of the wheel pair axle neck for longitudinal loading // Vestnik VNIIZHT, 1978. Pp. 33-34.
15. Kudryavtsev N. N. Research of dynamics of unsprung masses of cars // Tr. VNIIZHT. Issue 287. M.: Transport, 1965. 168 p.
16. Shakhunyats G. M. Railway track. Moscow: Transport, 1987. 479 p.
17. Skalov A.D., Koval V. A. Method of research of vertical and lateral forces at wear tests of rails // Vestnik VNIIZHT, 1980, no. 6. 216 p.
18. Rudanovsky V. M. Method of determining the causes of rolling stock derailments under conditions of uncertainty// Vestnik VNIIZHT, 2011. № 4. 10-15 p.

Информация об авторах

Железняк Василий Никитович – к.т.н., доцент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск e-mail: zheleznyak_vn@irgups.ru

Кушков Михаил Геннадьевич – аспирант кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: mike85k@yandex.ru

Крючкова Юлия Викторовна – студентка 5 курса кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: solnze-13@bk.ru

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

Панфилова Алина Олеговна – студентка 5 курса кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», Иркутский государственный университет путей сообщения, г. Иркутск, e-mail: panfilovalova@mail.ru

Authors

Zheleznyak Vasily Nikitovich – candidate of technical Sciences, associate Professor of the Department Wagons and wagon facilities, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: zheleznyak_vn@irgups.ru

Kushkov Mikhail Gennadievich – postgraduate student of the Department Wagons and wagon facilities, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: mike85k@yandex.ru

Kryuchkova Yulia Viktorovna – 5 year student of the Department Wagons and wagon facilities, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: solnze-13@bk.ru

Martynenko Lyubov Viktorovna – Postgraduate Student, Department of Wagons and Wagon Economy, Irkutsk State Transport University, Irkutsk e-mail: liuba.martinenko@yandex.ru

Panfilova Alina Olegovna – 5th year student of the department “Wagons and Wagon Economy”, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: alina.panfilovalova@gmail.com

Для цитирования

Железняк В.Н. Обеспечение безопасности движения подвижного состава в системе "локомотив-вагон-путь" в условиях горно-рельефной местности [Электронный ресурс] / В.Н. Железняк, М.Г. Кушков, Ю.В. Крючкова, Л.В. Мартыненко, А.О. Панфилова // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. – 2020. – №2(8). – Режим доступа: <http://mnv.irgups.ru/toma/28-20>, свободный. – Загл. с экрана. – Яз. рус., англ. (дата обращения: 13.07.2020)

For citation

Zheleznyak V.N. Ensuring the safety of rolling stock movement in the "locomotive-wagon-way" system in mountainous terrain [Electronic resource] / V.N. Zheleznyak, M.G. Kuskov, Yu.V. Kryuchkova, L.V. Martynenko, A.O. Panfilova // "Young science of Siberia": electron. scientific journal – 2020. – № 2(8). – Access mode: <http://mnv.irgups.ru/toma/28-20>, free. – Zagl. from the screen. – Yaz. Russian, English (date of the application 13.07.2020)