

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

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

ОСОБЕННОСТИ ВЛИЯНИЯ ШИРИНЫ КОЛЕИ НА ДИНАМИКУ ДВИЖЕНИЯ В КРИВЫХ УЧАСТКАХ ПУТИ МАЛОГО РАДИУСА

Аннотация. В статье рассмотрены зависимости влияния ширины колеи на сопротивление движению подвижного состава в рельсовой колее. При рассмотрении динамики движения вагона, особенно в кривых участках пути, необходимо путь представлять, как сложную геометрическую кривую третьего порядка. Кривой участок пути состоит: конец прямого участка (КП); переходной кривой (ПК); круговой кривой (КК). Переходная кривая имеет форму клотоиды, т.е. в математическом понятии кубической параболы. На этом участке при любом значении скорости происходит плавное нарастание центробежной силы. Плавность нарастания силы обеспечивает безударное вхождение колеса в круговую кривую. Основным законом обеспечения безопасного прохода колеса по рельсу оценивается предельно допустимой величиной непогашенного ускорения, которое для грузовых вагонов находится в пределах не более $0,3 \text{ м/с}^2$. Основной трудностью для колеса является проход его при малых значениях коэффициента трения гребня о боковую поверхность рельса. Приведённые графики зависимости радиуса кривой от работы сил трения в системе «колесо-рельс», наглядно показывают изменение качественных и количественных характеристик системы «колесо-рельс». Устройство внешней колеи в кривом участке пути предполагает каждому радиусу кривизны своё конкретное возвышение внешнего рельса. На этом участке кривой для безопасного прохождения вагона предполагается обеспечение расчётной ширины колеи до значения 1535-1548мм. Таким образом, устройство в кривых участках пути взаимосвязано с понятием: скорости; радиуса кривой; возвышение внешнего рельса, уширения колеи.

Ключевые слова: динамика подвижного состава, радиус кривой, работа сил трения, колесо, сопротивление движению вагона, ширина колеи.

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

¹ Irkutsk State Transport University, Irkutsk, the Russian Federation

FEATURES OF INFLUENCE OF THE WIDTH OF THE RUT ON THE DYNAMICS OF MOTION IN CURVED SITES OF THE WAY OF SMALL RADIUS

Abstract. The article considers the dependences of the influence of the track width on the resistance to movement of rolling stock in the rail track. When considering the dynamics of movement of the car, especially in curved sections of the path, it is necessary to represent the path as a complex geometric curve of the third order. The curve section of the path consists of: the end of a straight section (CP); a transition curve (PC); a circular curve (CC). The transition curve has the form of a clotoid, i.e. in the mathematical concept of a cubic parabola. On this site, at any speed value, there is a smooth increase in the centrifugal force. The smoothness of the force build-up ensures that the wheel enters the circular curve without impact. The basic law of ensuring the safe passage of the wheel on the rail is estimated by the maximum permissible amount of outstanding acceleration, which for freight cars is within the range of no more than 0.3 m/s^2 . The main difficulty for the wheel is its passage at low values of the coefficient of friction of the ridge on the side surface of the rail. The given graphs of the curve radius dependence on the work of friction forces in the wheel-rail system clearly show the change in the qualitative and quantitative characteristics of the wheel-rail system. The arrangement of a rail track in a curved section of track assumes each radius of curvature its specific elevation of the outer rail. On this section of the curve for the safe passage of the car, it is assumed to provide the calculated track width to the value of 1535-1548mm. Thus, the device in the curved sections of the path is interconnected with the concept: speed; radius of the curve; elevation of the outer rail, widening of the track.

Keywords: rolling stock dynamics, curve radius, work of friction forces, wheel, resistance to carriage movement, track gauge.

Введение

Система «колесо-рельс» обеспечивает непрерывное взаимодействие подвижного состава с верхним строением пути.

Необходимо, чтобы совершенствование подвижного состава осуществлялось с учетом сложившихся условий инфраструктуры. Важным дополнительным средством оптимизации

сопряжения между подвижным составом и верхним строением пути выступают диагностические системы.

Для пассажирских поездов со скоростью до 300 км/ч. и грузовых с осевыми нагрузками до 22,5тонн (в перспективе до 25 тонн) требуется, чтобы верхнее строение пути отвечало высоким требованиям в отношении:

- безопасности, надежности и эксплуатационной готовности;
- устойчивости движения и плавности хода;
- долговечности и качества текущего содержания.

При этом важно, чтобы путь отвечал соответствующим правилам технической эксплуатации, не имел дефектов, имел высокое качество в отношении геометрии и динамических свойств, в том числе профиля рельсов, гарантирующего хороший контакт с колесом и устойчивое безопасное движение экипажа.

Качество и эффективность данной системы в большой степени зависят от зон сопряжения между инфраструктурой и подвижным составом. К ним относятся:

- контакт «колесо — рельс»;
- взаимодействие контактной сети с токоприемником;
- электромагнитная совместимость систем обеспечения безопасности движения и управления.

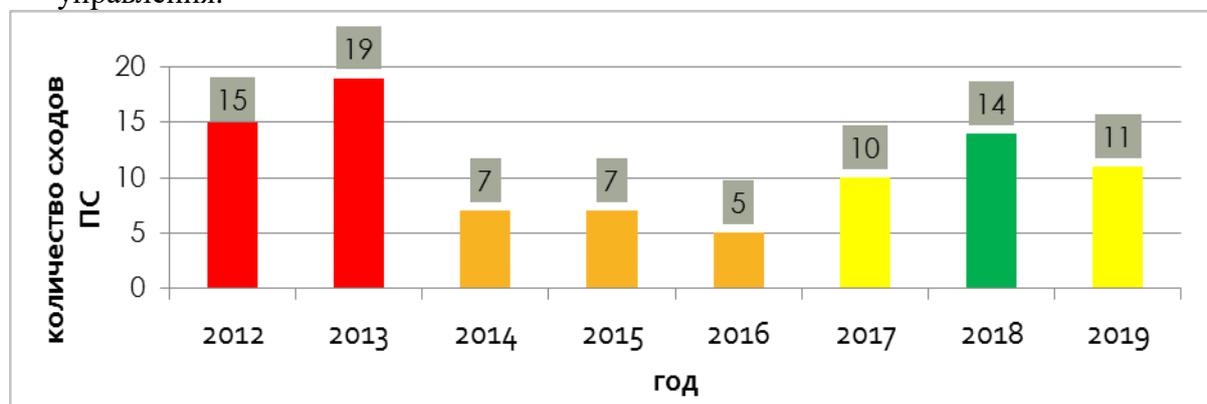


Рис. 1. Количество сходов подвижного состава в период 2012-2019 гг.

Для надежного направления подвижного состава в колее и возможности плавности хода, а также для обеспечения допустимого уровня износа рельс и колесо должны иметь согласованную форму профиля. По действующим инструкциям колесные пары обладать должны такими свойствами, чтобы в определенных случаях обеспечивалось прохождение кривых с радиусом 150 метров.

Для обеспечения комфортной поездки подвижной состав должен обладать плавностью хода и согласованным с его конструкцией рессорным подвешиванием кузова. Упругость верхнего строения пути, конусность колес и разбег колесной пары в рельсовой колее также необходимо учитывать при оценке эффективности данной системы.



Рис. 2. Влияние радиуса кривой на удельную работу сил трения в системе «колесо-рельс» при моделировании движения грузового полувагона.

Определялся коэффициент устойчивости против вкатывания колеса на рельс для оценки влияния зазора в колее на показатель безопасности при моделировании движения полувагона порожнего. Пришли к выводу, что в прямых и пологих кривых участках самые большие значения коэффициента устойчивости (это около 1,5) достигаются при очень малых зазорах в рельсовой колее.

Вместе динамические силы определяются величиной необрессоренных масс. Их уменьшение возможно из-за занижения массы тележек при применении более легких сплавов и модернизированного рессорного подвешивания в раме тележки колесных пар. Нужно ожидать положительного эффекта от увеличения между шкворнями расстояния (а в двухосных – от расстояния между колесными парами) в грузовых вагонах.

В нескольких вариантах рассматривается разность диаметра колес: когда правым колёсам характерен больший диаметр при движении в правой кривой, когда две первые оси тележки обладают большим диаметром на правых колёсах, а второй тележки на левых колёсах, а также, когда колёсная пара первая имеет правое колесо с большим средним кругом катания, а вторая – левое. Исследовано влияние разности диаметров для полувагона и вагона хоппера от 0 до 4 миллиметров. Итог моделирования показывает, что удельная работа сил трения для гружёного вагона в самом критическом случае, когда все правые колеса обладают большим на величину до 4 миллиметра диаметром, при нахождении в правой кривой, увеличивается примерно в 2-3 раза для всех скоростей движения и значений ширины колеи, а при втором варианте определенной имеющейся разности диаметров, работа трения возрастает приблизительно в 1,7 раза.

Анализируя трудоемкость технического обслуживания параметров системы «колесо – рельс» и принимая во внимание опыт настоящего содержания пути, можно выявить ресурс максимального улучшения подвижного состава в его воздействии на рельсовый путь, а также с точки зрения размера появляющихся вертикальных сил.

В кривых участках с радиусом 350 метров и движении со скоростью, максимально близкой к равновесной, свойства изнашивания и удельная работа трения среди колёс и рельс для вагонов груженых понижаются: при значении ширины колеи 1520-1530 миллиметров – на 22%, а при повышении ширины колеи выше 1530–1545 миллиметров параметры износа добавочно понижаются на 20–30%.

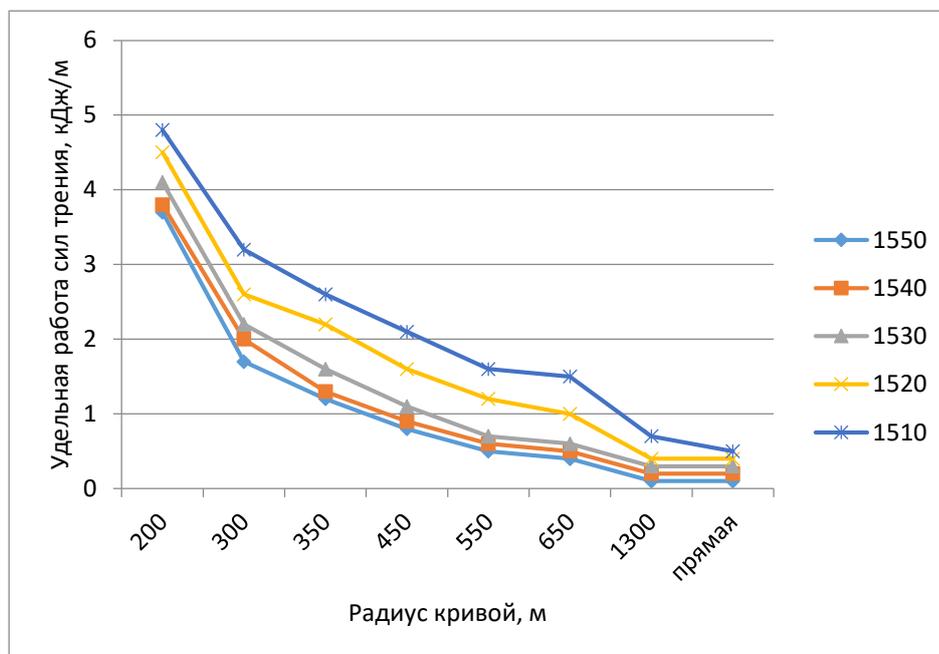


Рис. 3. Влияние радиуса кривой на удельную работу сил трения в системе колесо-рельс при моделировании движения грузового полувагона.

Работа сил трения выявляется относительным проскальзыванием колеса по рельсу, а также давлением непосредственно в контакте, которое напрямую зависит от активных

боковых сил и профилей колеса и рельса. При росте значения зазора от 14 до 24 мм (ширины колеи 1520-1530мм) и квазистатическом движении (не учитывая неровности пути) происходит снижение продольной компоненты проскальзывания в 1,5 раза. Это происходит из-за более полного применения конической части поверхности катания колеса. При последующем возрастании зазора данный резерв истощается –и такого же понижения продольного проскальзывания не происходит. Поперечная компонента относительного проскальзывания, которая зависима с изменением угла набегания колеса на рельс, также снижается, но только уже в маленькой незначительной степени.

В прямых участках пути с возрастанием ширины колеи при ее значениях:1510–1530 мм имеет место её минимум. Воздействие ширины колеи на интенсивность износа поверхности катания и гребней колес в огромной мере связано со склонностью вагона вилять, а также и от степени износа колёс.

Изменение ширины колеи вызывает воздействие на величину составляющей сопротивления движению вагона грузового, которая связана с взаимодействием колёс и рельсов. Так изменение ширины колеи с 1520-1530 мм при движении вагона груженого в кривой с радиусом 350 метров и со скоростью 60 км/час, учитывая новые профили катания колёс и рельсов уменьшает сопротивление движению, связанное с взаимодействием колёс и рельсов на величину 1,22 Н/Кн. Необходимо сказать, что в зависимости от износа колеса и рельса данное различие в сопротивлении движению непосредственно убывает в 1,5-2 раза, но а для кривой радиусом 650 метров становится очень малым.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Шахуняц Г.М. Железнодорожный путь. Москва: Транспорт, 1987. – 479 с.
2. Анисимов П.С. Конструирование и расчет вагонов. М: ФГОУ «УМЦ», 2011. – 688 с.
3. Лысюк В.С. Причины и механизмы схода колеса с рельса. М: Транспорт, 2002. – 215 с.
4. Пухов И.В. Между колесом и рельсом. Гудок. Выпуск № 207 (26346), 22.11.2013. URL: <https://gudok.ru/newspaper/?ID=1393921> .(дата обращения 30.04.2020)
5. Лукин В.В. Анисимов П.С. Федосеев Ю.П. Вагоны. Общий курс. М: Маршрут, 2004. – 424 с.
6. Ромен Ю.С. Певзнер В.О. Основы разработки нормативов содержания пути и установления скоростей движения. Москва: Интекст, 2013. – 224 с.
7. Ромен Ю.С. Динамика железнодорожного экипажа в рельсовой колее: методы расчета и испытаний. Москва: ВМГ-Принт., 2014. – 208 с.

REFERENCES

1. Shakhunyats G.M. Railway track Moscow: Transport., 1987.479 p.
2. Anisimov P.S. Design and calculation of cars. M: FGOU "UMTS", 2011. 688 p.
3. Lysyuk V.S. Causes and mechanisms of wheel derailment. M: Transport, 2002.215 s.
4. Pukhov I.V. Between the wheel and the rail. Beep. Issue No. 207 (26346), 11/22/2013. URL: <https://gudok.ru/newspaper/?ID=1393921> (accessed 04.30.2020)
5. Lukin V. V. Anisimov P. S. Fedoseev Yu. P. Wagons. General course. M: Route, 2004. 424 p.
6. Romen Yu. S. Pevsner V. O. Fundamentals of development of standards for the content of the path and setting traffic speeds. Moscow: Intext., 2013. 224 p.
7. Romen Yu. S. Dynamics of the railway crew in the rail track: methods of calculation and testing. Moscow VMG-Print., 2014. 208 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

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: alina.panfilovalova@gmail.com

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

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. Особенности влияния ширины колеи на динамику движения в кривых участках пути малого радиуса [Электронный ресурс] / В.Н. Железняк, 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. Features of influence of the width of the rut on the dynamics of motion in curved sites of the way of small radius [Electronic resource] / V.N. Zheleznyak, 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)