

УДК 629.4.015

Ю.В. Крючкова¹, И.Ю. Ермоленко¹

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

ИССЛЕДОВАНИЕ УСТОЙЧИВОСТИ ВАГОНОВ ПРОТИВ СХОДА ПРИ ДВИЖЕНИИ ПО СЛОЖНЫМ УЧАСТКАМ ДОРОГИ

Аннотация. В статье приведены результаты теоретического исследования критериев устойчивости вагонов против схода. Проведен анализ сходов на Восточно-Сибирской железной дороге и предложены пути уточнения коэффициента устойчивости колесной пары против схода.

Ключевые слова: вагон, устойчивость колесной пары, сложные участки дороги, сход, продольная динамика поезда.

Yu. V. Kryuchkova¹, I. Yu. Ermolenko¹

¹ Irkutsk State Transport University, Irkutsk, Russian Federation

STUDY ON THE STABILITY OF CARS AGAINST GATHERING ON COMPLEX SECTIONS OF ROADS

Abstract. In the article the results of theoretical studies of the criteria of stability of railroad cars to the gathering are given. Is carried out the analysis of gatherings on the East- Siberian railroad and the ways of refining the stability factor of a pair of wheels to the gathering are proposed

Keywords: railway carriage, the stability of the pair of wheels, complex sections are expensive, the gathering, the longitudinal dynamics of the train

Введение

Наибольшее количество сходов подвижного состава с рельсов происходит из-за вкатывания гребней колес на рельс. Сам процесс схода зависит от множества факторов, которые в их вероятностном сочетании изучены еще недостаточно [1, 2].

Особенно актуальной является исследование проблемы устойчивости подвижного состава от схода с рельсов из-за вкатывания гребней колес на рельс в случаях, когда условия движения поезда не согласуются с накопленным опытом или не подтверждаются инженерными расчетами по всем известным методикам.

Исследование устойчивости колесной пары

Многочисленные теоретические исследования схода колес подвижного состава с рельсов основаны, главным образом, на анализе математических моделей пространственного движения по пути с различными характеристиками верхнего строения. Однако, в силу недостаточно изученных статистических данных, эти модели могут служить основой лишь для качественного, а не количественного анализа самого процесса схода колес с рельсов, и по этой причине недостаточно надежны при практическом применении.

Сложность состоит в том, что при всех исследованиях изучается влияние на процесс схода колеса с рельса тех и иных неисправностей пути и подвижного состава каждой в отдельности, а не в их сочетании.

Анализ проведенных за последние годы теоретических и экспериментальных исследований проблемы вкатывания гребня колеса на рельс [3, 4] показал, что наиболее приемлемой для практического применения является определение критического состояния вкатывания гребня колеса на рельс по зависимости:

$$\frac{Y_p}{P1} \leq \frac{\mu \cdot b_1 + (S2 + b_1) \cdot \operatorname{tg}(\beta - \varphi)}{S2 - (r - R) \cdot [\operatorname{tg}(\beta - \varphi) + \mu]} - \frac{P2}{P1} \cdot \frac{\mu \cdot b_2 - (S2 - b_2) \cdot \operatorname{tg}(\beta - \varphi)}{\{S2 - (r + R) \cdot [\operatorname{tg}(\beta - \varphi) + \mu]\}} - \frac{S2 \{ I2 \cdot \mu - I1 \cdot \operatorname{tg}(\beta - \varphi) + \frac{P_t}{n} \cdot [\mu - \operatorname{tg}(\beta - \varphi)] \}}{P1 \cdot \{S2 - (r + R) \cdot [\operatorname{tg}(\beta - \varphi) + \mu]\}} = A, \quad (1)$$

Отношение A к $Y_p/P1$ принято называть коэффициентом устойчивости против схода подвижного состава с рельса из-за вкатывания гребня колеса на рельс ($K_{уст}$), который не должен превышать величины 1,3 [5], т.е.:

$$K_{уст} = \frac{A}{\left(\frac{Y_p}{P1}\right)} \leq 1,3 \quad (2)$$

В выражениях (1, 2) использованы следующие обозначения:

где Y_p – рамная сила;

$P1$ – вертикальная динамическая сила от набегающего колеса на рельс;

$P2$ – вертикальная динамическая сила от другого колеса той же колесной пары; μ – коэффициент трения скольжения колеса по рельсу;

$I1$ и $I2$ – вертикальные силы инерции от колебания кузова на рессорах соответственно по первому и второму колесу колесной пары;

φ – угол трения колеса по рельсу;

β – угол наклона между образующей поверхности гребня колеса и горизонтальной плоскостью;

r – радиус колеса по кругу катания;

P_t – масса тележки;

n – количество колес в тележке;

$S1$ – расстояние между осями рельсовых нитей;

$S2$ – расстояние между боковой гранью внутреннего рельса до боковой грани упорного рельса;

$b1$ и $b2$ – плечи сил соответственно $P1$ и $P2$ относительно точек контакта колес с рельсами.

Расчеты по приведенному неравенству (1) с достаточной для практических целей точностью удовлетворяют условиям безопасного движения при исправном состоянии пути и подвижного состава.

Если определение динамической вертикальной силы, передающейся от набегающего колеса на рельс $P1$ не вызывает особых затруднений, то определение рамной силы Y_p в каждом конкретном случае всегда затруднительно, поскольку ее значение зависит от множества факторов (состояние пути и подвижного состава, режимов ведения поезда и др.).

В общем виде зависимость силы на контакте гребня колеса и рельса от ряда факторов в их вероятностной композиции может быть представлена в виде:

$$Y_p = k1 \cdot Y0 + k2 \cdot Y_{ин} + k3 \cdot Y_u + k4 \cdot Y_b + k5 \cdot Y_k, \quad (3)$$

где $k1, \dots, k5$ – коэффициенты вероятности одновременного сочетания неблагоприятных факторов;

$Y0$ – направляющее усилие, определяемое расчетом на силовое вписывание подвижного состава или по графикам-паспортам для каждого конкретного подвижного состава в зависимости от непогашенного ускорения на момент схода колес с рельсов, без учета неисправностей пути и подвижного состава;

Y_{np} – дополнительная боковая сила, вызываемая неисправностями пути (в основном из-за наличия отступлений от норм содержания пути по направлению в плане);

Y_u – дополнительное направляющее усилие (поперечная горизонтальная сила, передающаяся от колеса на рельс), зависящая от угла набегания гребня колеса на рельс;

Y_b – дополнительное направляющее усилие для преодоления момента сил трения возвращающих устройств при повороте тележек в кривой;

Y_k – дополнительное направляющее усилие от действия продольной силы в поезде при тяге и торможении.

Масса поезда, непогашенное ускорение в рассматриваемых случаях учитывались через реализуемые в каждом конкретном случае значения продольных сил в поезде [6]. Анализ данных показал, что путь в прямых участках является достаточно устойчивым против сходов подвижного состава из-за вкатывания гребня колеса на рельс, за исключением режимов ведения поезда при полном служебном пневматическом торможении.

Звеньевой путь на деревянных шпалах менее устойчив, особенно в кривых участках при наличии отступлений по направлению в плане (углов), неисправностей подвижного состава и неблагоприятных режимов ведения поезда.

Среди всех режимов ведения поезда наибольшее воздействие на продольную динамику и на путь оказывают режимы выбега и тяги, и экстренное пневматическое торможение.

В режиме выбега и тяги на переломах продольного профиля линии (при движении со спуска на подъем) при наличии порожних вагонов с неисправностями экипажной части и углов в плане (в кривых) возникает реальная угроза выдавливания вагонов в голове и в хвосте поезда.

Аналогичными отрицательными последствиями характеризуются также и режимы полного служебного пневматического торможения, которые особенно неблагоприятно сказываются в случаях их применения при движении поезда на боковое направление стрелочных переводов с остановкой и применением на последнем этапе движения прицельного торможения вспомогательным прямодействующим тормозом локомотива для остановки.

В кривых участках пути при реализации продольной тормозной силы поезда более 500 кН возникают сходы подвижного состава с рельсов либо из-за выдавливания порожних или легковесных вагонов в голове поезда (особенно при несовпадении центров сцепок более 100 мм и наличии просадок пути IV и V степеней неисправности). Либо из-за распора рельсовой колеи (с последующей раскантовкой рельсов) на деревянных шпалах из-за кустовой гнилости шпал, или отступлений от норм и допусков устройства рельсовой колеи по направлению в плане IV и V степеней неисправности.

Рекуперативное и реостатное торможения поездов в зоне стрелочных переводов материалами всех служебных расследований причин крушения и аварий грузовых поездов, как правило, не учитываются, поскольку они формально не разрешены действующими инструкциями. Однако, на практике оба вида электрического торможения фактически применяются. Установить сам факт его применения можно лишь косвенными методами.

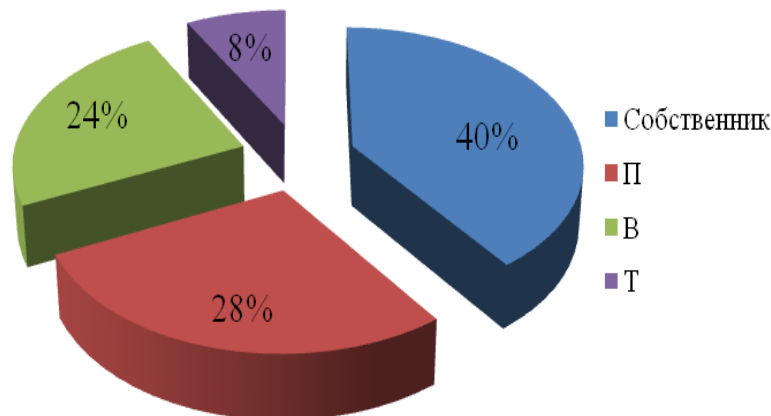
Максимальные продольные силы в поезде при всех экспертизах крушений и аварий обычно находились в пределах 200-400 кН, что меньше допускаемых для грузовых груженных вагонов 1000 кН и 500 кН - для порожних.

Однако необходимо учитывать, что указанные допускаемые продольные силы являются предельными лишь по условиям выдавливания вагонов в голове поезда при исправном подвижном составе и пути. При наличии неисправностей, в зависимости от их сочетания, сходы подвижного состава с рельсов происходят при значительно меньших значениях продольных сил (200-400 кН), а на горно-перевальных участках с уклонами 15-20 ‰ эти силы превышают 500 кН, что непосредственно угрожает безопасности движения.

Еще более важен анализ процентного соотношения влияния на устойчивость подвижного состава против схода от вкатывания гребней колес на рельс всех

неблагоприятных факторов (неисправностей пути, подвижного состава и режимов ведения поезда), как каждого в отдельности так и в их сочетании.

Такой анализ был проведен по результатам обработки 28 случаев крушений и аварий на Восточно-Сибирской железной дороге. В общем случае крушения и аварии поездов происходили по причинам:



- П – неисправности пути;
- В – недосмотр осмотрщиками вагонов в парке отправления;
- Т – неправильное вождение локомотива;
- Собственник – некачественный ремонт узлов и деталей вагонов.

Рис.1. Распределение неисправностей, которые привели к сходу

Заключение

Для более детального уточнения значений коэффициентов в зависимости (3) в дальнейшем планируется провести многофакторный анализ основных причин сходов подвижного состава с рельсов на основании многовариантных расчетов во всем диапазоне реальных параметров неисправностей пути и подвижного состава и режимов вождения поездов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Вериго М. Ф., Коган А. Я. Взаимодействие пути и подвижного состава / Под ред. М. Ф. Вериго. -М.: Транспорт, 1986. - 599 с.
2. Лысюк В. С. Причины и механизм схода колеса с рельса. Проблемы износа колес и рельсов. -М.: Транспорт, 1997. - 188 с.
3. Вериго М. Ф. Об устойчивости движения колеса по рельсу // Вести ВНИИЖТ, 1985. - С. 3-7.
4. Матусовский Г. И., Коган А. Я. Траектория движения колеса при вкатывании его на рельс // Труды ВНИИЖТ, 1975, Вып. 542. - С. 148-155.
5. ГОСТ 33211-2014 «Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам». – М.: Стандартинформ, 2016. - 57 с.
6. Ермоленко И.Ю., Крючкова Ю.В., Панфилова А.О. Анализ результатов динамических испытаний вагонов при движении по горно-перевальным участкам ВСЖД // Безопасность транспорта и сложных технических систем глазами молодежи: материалы Всероссийской молодежной науч.-практ. конф., 10-13 апреля 2018 г.– Иркутск.: ИрГУПС, 2018. 368 с.

REFERENCES

1. Verigo M.F., Kogan A.Ya. Vzaimodeystviye puti i podvizhnogo sostava / Pod red. M. F. Verigo [Interaction of way and rolling stock]. -M.: Transport, 1986. - 599 p

2. Lysyuk V.S. Prichiny i mekhanizm skhoda koleasa s relsa. Problemy iznosa koles i relsov [Reasons and the mechanism of gathering wheel from the rail. Problems of the wear of wheels and rails] . -M.: Transport, 1997. - 188 p.

3. Verigo M.F. Ob ustoychivosti dvizheniya koleasa po relsu [On the stability of motion of wheel with respect to the rail]. Vesti VNIIZhT [*To conduct VNIIZhT*], 1985, pp. 3-7.

4. Matusovskiy G.I., Kogan A.Ya. Trayektoriya dvizheniya koleasa pri vkatyvanii ego na rels [Trajectory of the motion of wheel during its rolling in to the rail]. Trudy VNIIZhT [*Transactions VNIIZhT*], 1975, No. 542, pp. 148–155.

5. GOST 33211-2014 Vagony gruzovyye. Trebovaniya k prochnosti i dinamicheskim kachestvam [Railroad cars are cargo. Requirements for the strength and the dynamic qualities]. –M.: Standartinform, 2016. - 57 p.

6. Ermolenko I.Yu., Kryuchkova Yu.V., Panfilova A.O. Analiz rezultatov dinamicheskikh ispytaniy vagonov pri dvizhenii po gorno-perevalnym uchastkam VSZhD [Analysis of the results of the dynamic tests of railroad cars during the motion through the mining sections ESRR]. Bezopasnost transporta i slozhnykh tekhnicheskikh sistem glazami molodezhi: materialy Vserossiyskoy molodezhnoy nauch.-prakt. konf, 10-13 aprelya 2018 g [*Safety of transport and complex technical systems by the eyes of the young people: the materials of the All-Russian youth of nauch. - prakt. conf., 10-13 April 2018 year*]. -Irkutsk.: IrGUPS, 2018. 368 p.

Информация об авторах

Крючкова Юлия Викторовна – студент группы ПСЖ.2-15-1, Иркутский государственный технический университет, г. Иркутск, e-mail: solnze-13@bk.ru

Ермоленко Игорь Юрьевич – ст.преподаватель кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство», Иркутский государственный технический университет, г. Иркутск, e-mail: ermolenko_iy@list.ru

Authors

Yuliya Viktorovna Kryuchkova – student group PSZH.2-15-1, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: solnze-13@bk.ru

Igor Yurievich Ermolenko – Senior Lecturer of the Department of Carriages and Carriage Economy, Irkutsk State Transport University, Irkutsk, e-mail: ermolenko_iy@list.ru

Для цитирования

Крючкова Ю. В. Исследование устойчивости вагонов против схода при движении по сложным участкам дороги [Электронный ресурс] / Ю. В. Крючкова, И. Ю. Ермоленко // Молодая наука Сибири: электрон. науч. журн. — 2018. — №1. — Режим доступа: <http://mnv.irgups.ru/toma/11-2018>, свободный. — Загл. с экрана. — Яз. рус., англ. (дата обращения: 05.10.2018)

For citation

Kryuchkova Yu.V., Ermolenko I.Yu. Issledovaniye ustoychivosti vagonov protiv skhoda pri dvizhenii po slozhnym uchastkam dorogi [Study on the stability of cars against gathering on complex sections of roads]. *Molodaya nauka Sibiri: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal* [Young science of Siberia: electronic scientific journal], 2018, no. 1. [Accessed 05/10/18]