

**И.Ю. Ермоленко**<sup>1</sup>

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

## **АНАЛИЗ КРИТЕРИЕВ УСТОЙЧИВОСТИ КОЛЕСА НА РЕЛЬСЕ ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ РАССЛЕДОВАНИЯХ СХОДА ПОДВИЖНОГО СОСТАВА**

**Аннотация.** В статье приведены результаты анализа критериев устойчивости колесной пары против схода. Краткий обзор работ в области динамики вагонов показал, что критерий постоянно добавляются новые коэффициенты. Анализ сходов на Восточно-Сибирской железной дороге показал, что коэффициент устойчивости зависит в основном от двух факторов.

**Ключевые слова:** колесная пара, сход, коэффициент устойчивости, рамная сила, динамические качества вагона.

**I. Yu. Ermolenko**<sup>1</sup>

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

## **ANALYSIS OF THE CRITERIA OF STABILITY OF WHEEL ON THE RAIL OF THOSE USED DURING THE INVESTIGATIONS OF GATHERING THE ROLLING STOCK**

**Abstract.** In the article the results of the analysis of the criteria of stability of a pair of wheels to the gathering are given. The brief survey of works in the field of the dynamics of railroad cars showed that criterion constantly are added the new coefficients. The analysis of gatherings on the East-Siberian railroad showed that coefficients of stability depends in essence on two factors.

**Keywords:** the pair of wheels, the gathering, stability factor, the frame force, the dynamic qualities of the railroad car.

### **Введение**

На железных дорогах России произошло увеличение числа сходов подвижного состава, в особенности в порожнем состоянии. Для решения задачи предупреждения сходов вагонов необходимо обоснование и изменение отдельных норм содержания вагонов, регламентирование скоростного режима на участках движения, где происходили сходы. При решении данной задачи необходимо исследовать техническое состояние различных вагонов и пути. Для этих целей возможно и целесообразно, использование методов математического и компьютерного имитационного моделирования.

Железнодорожный путь не является строго прямолинейным в плане и имеет различные неровности и искривления. Указанные неровности и искривления могут быть преднамеренными, т.е. объективно полезными (кривые и стрелки), и случайными (вредными), допущенными при укладке и ремонте пути или образовавшимися в процессе его эксплуатации вследствие остаточных деформаций и износов. На путь и ходовые части подвижного состава ложится задача безопасного направления движения колесных пар в прямых и кривых радиусах пути. Указанная задача решается за счет соответствующего выбора формы профилей поверхностей катания колесных пар и рельсов, снабжения колес гребнями и использования рациональных свойств горизонтального подрессоривания экипажей.

### **Определение критериев устойчивости**

Различают два вида устойчивости движения рельсовых экипажей вдоль пути: устойчивость "в большом" (когда направление движения осуществляется с участием гребней колесных пар) и устойчивость "в малом" (когда указанное направление достигается без

участия гребней колес).

Вопросами устойчивости движения вагонов "в малом", занимается теория колебаний вагонов, которая вырабатывает соответствующие рекомендации и требования к устройству, а также параметры элементов вагона и пути, способствующие реализации такой устойчивости [1]. Это способствует повышению плавности хода, но ни в коей мере не обеспечивает безопасность движения. Требования безопасности приходится удовлетворять за счет обеспечения устойчивости движения "в большом", т.е. за счет осуществления достаточно надежного направления движения, колесных пар гребнями колес.

Динамические качества железнодорожных экипажей часто связывают с запасом устойчивости. Коэффициент запаса устойчивости против вкатывания его на головку рельса является интегральным показателем безопасности движения, так как определяется с учетом вертикальных и рамных сил, сил трения в контакте гребня колеса с рельсом и геометрических параметров колесной пары. Анализ работы [2] показал, что одной из причин схода колес вагона с рельса в кривых является возникновение значительных боковых сил между колесом и рельсом от действия момента сопротивления повороту тележки под кузовом.

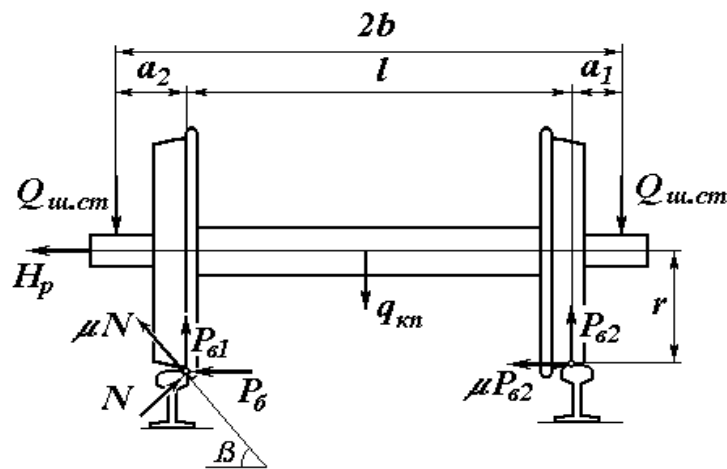


Рис. 1. Расчетная схема нагрузок действующих на колесную пару

Теоретическими и экспериментальными исследованиями установлено, что порожний вагон более чувствителен к износам ходовых частей и неровностям рельсовой колеи, чем груженный. Следовательно, вероятность схода порожних значительно выше.

Во избежание сходов с рельсов и обеспечения запаса устойчивости устанавливаются границы, выраженные с помощью определенных показателей. Эти показатели определяют условия подъема колеса над головкой рельса, опрокидывания рельса и расширения колеи. Одним из применяемых ограничений условие, выраженное через отношение действующей на колесо боковой силы к вертикальной  $\frac{P_6}{P_6}$ . Для этого используется формула Надаля, которая задается в следующем виде:

$$\frac{P_6}{P_6} \leq [K_{\text{вк}}] \quad (1)$$

где  $P_6$  – сила давления рамы на направляющую колесную пару (рамная сила);

$P_6$  – вертикальная сила, действующая на шейку у набегающего колеса;

$[K_{\text{вк}}]$  – допустимая величина коэффициента устойчивости по вкатыванию.

Коэффициент устойчивости колесной пары против схода с рельса в кривой (по условию «вкатывания» гребня колеса) в настоящее время определяется из [3]:

$$K_{\text{уст}} = \frac{\text{tg}(\beta) - \mu}{1 + \mu \cdot \text{tg}(\beta)} \cdot \frac{P_6}{P_6} \geq [K_{\text{уст}}], \quad (2)$$

где  $\beta$  – угол наклона образующей конусообразной поверхности гребня колеса с горизонталью. Для новых колес с профилем по ГОСТ 9036-88,  $\beta = 60^\circ$ ;

$\mu$  – коэффициент трения поверхностей колес и рельсов, 0,25;

$P_v$  – вертикальная нагрузка, от набегающего колеса;

$P_b$  – боковое усилие взаимодействия гребня набегающего колеса и головки рельса;

$[K_{уст}]$  – допускаемое значение коэффициента запаса устойчивости (для грузовых вагонов  $[K_{уст}] = 1,3$  в соответствии с в соответствии с ГОСТ 33211-2014.

При изучении динамики подвижного состава нужно знать точное условие схода колеса с рельс. Сход из-за вкатывания гребней колес на рельс представляет собой наибольшую опасность.

В соответствии с нормативной документацией условие безопасного движения выполняется, когда действующие на колесную пару силы должны быть такими, чтобы коэффициент запаса устойчивости по условию вкатывания гребня колеса на рельс не превышал некоторое критическое значение.

В работах [4-6] авторами на примере одиночной колесной пары делается вывод, что существует такой диапазон значений рамных сил, когда абсолютное значение рамной силы, принимает значение из этого диапазона, возникновение схода колесной пары зависит от начального угла набегания. Если абсолютная величина рамной силы превышает верхнюю границу диапазона, сход с рельсов произойдет при любом угле набегания, если наоборот, то сход не случится ни при каком угле набегания. Для колесной пары под грузным вагоном нижняя граница составляет 150-175 кН; верхняя – 400-425 кН, что соответствует величинам коэффициента запаса устойчивости по условию вкатывания гребня колеса на рельс 0,9 и 0,6 соответственно. Для порожнего вагона те же значения коэффициента запаса устойчивости по условию вкатывания гребня колеса, соответствующие значения рамных сил, конечно, меньше.

Для того чтобы гребень колеса успел вкатиться на рельс, условие перекатывания конической поверхности гребня по кромке направляющего сечения рельса должно выполняться в течение некоторого промежутка времени, достаточного для такого вкатывания. Этот промежуток можно определить, как

$$t \geq t_{cx} \approx \frac{h}{v \cdot \operatorname{tg}(\alpha) \cdot \operatorname{tg}(\beta)}, \quad (3)$$

где  $v$  – скорость движения вагона, м/с.

Наибольшее значение  $\operatorname{tg}(\alpha)$  ограничивается предельно возможными перекосами тележки в рельсовой колее и рамы тележки в горизонтальной плоскости. Он не должен превышать значение равное  $\operatorname{tg}(\alpha) = 0,035 \div 0,0526$ .

Из формулы видно, что с увеличением скоростей движения величина  $t_{cx}$  уменьшается, это повышает опасность схода колесной пары с рельсов за счет увеличения вероятности возникновения необходимых для этого условий.

Профессором Погореловым Д.Ю. [1] предложено за сход принимать такое поперечное перемещение колесной пары относительно оси пути, при котором происходит совпадение внутренней плоскости колеса с вертикальной осью рельса.

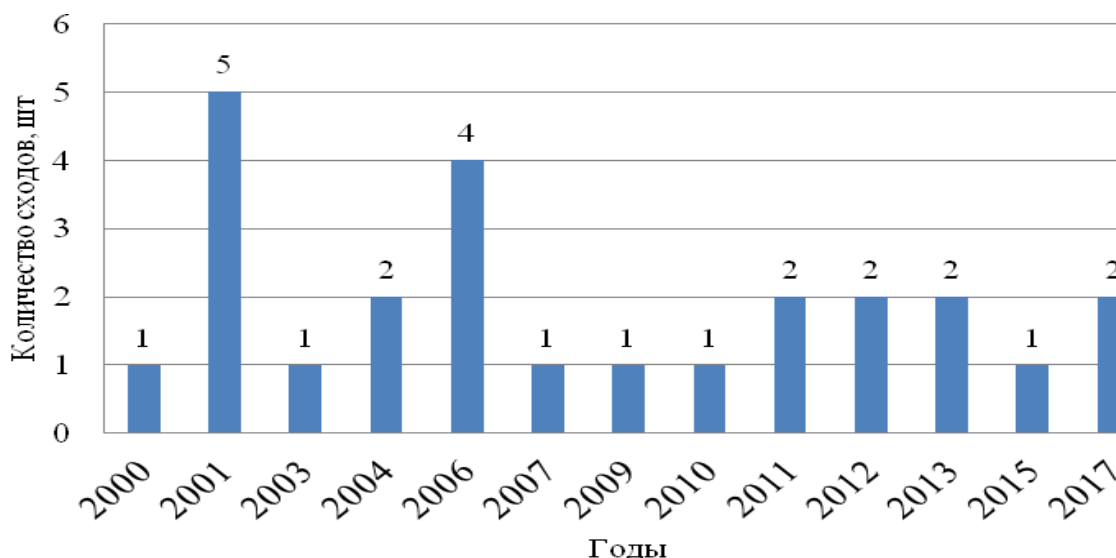
В работе [7] одним из критериев опасности схода, рассматривалось влияние продольных (растягивающих и сжимающих) сил, которые возникают в результате нарушений режима вождения поезда. Эффект от действия продольных сил определяется их направлением и положением вагона по отношению к соседним экипажам в сцепе. При расположении вагонов под углом друг к другу (рис. 2) в плане возникают поперечные горизонтальные составляющие продольных сил; а при разности высот их автосцепок – вертикальные составляющие, создающие дополнительно пригруз или разгрузку соответствующих колес экипажа в зависимости от его колебаний.



**Рис. 2. Форма потери устойчивости вагона от выжимания продольными силами для порожнего вагона**

Это оказывает влияние на соотношения боковых и вертикальных сил взаимодействия, обуславливающих условия вкатывания колеса на рельс.

Анализ данных по сходам подвижного состава на Восточно-Сибирской железной дороге (ВСЖД) за период 2000-2017 года показал следующую статистику.



**Рис. 3. Статистика сходов подвижного состава на ВСЖД**

### **Заключение**

Из всего вышесказанного можно сделать вывод, что за последние несколько лет возросло число сходов подвижного состава по причине излома боковой рамы тележки грузового вагона. За период 2006-2013 гг. количество изломов увеличилось в 3-4 раза.

Проведенный краткий анализ критериев безопасности показывает, что в зависимости от возможностей и сложности модели в основе могут лежать:

- силовой признак, то есть соотношение боковой и вертикальных реакций на колесе при определенном значении времени продолжительности выхода за нормированное значение;

- кинематический, то есть определенная величина поперечного или вертикального смещения колеса с учетом времени и т.д. - для более сложных моделей, реализующих кинематику движения, а не колебаний.

### **БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. Погорелов Д.Ю., Павлюков А.Э., Юдакова Т.А., Котов С.В. Моделирование контактных взаимодействий в задачах динамики систем тел // Динамика, прочность и надежность транспортных машин / Под ред. Б.Г. Кеглина. – Брянск.: БГТУ, 2002. - С. 11-23.

2. Данович В.Д. Оценка запаса устойчивости от вкатывания колеса на рельс в уточненной постановке // Проблемы механики железнодорожного транспорта: Динамика, надежность и безопасность подвижного состава. Тезисы докладов X Международ. конференции. – Днепропетровск.: Арт-Пресс, 2000. - 67 с.

3. ГОСТ 33211-2014 «Вагоны грузовые. Требования к прочности и динамическим качествам». – М.: Стандартиформ, 2016. - 57 с.

4. Коротенко М.Л., Рейдемейстер А.Г. Сход с рельсов одиночной колесной пары. Силы, вызывающие сход, продолжительность схода / Проблемы механики железнодорожного транспорта: Динамика, надежность и безопасность подвижного состава / Тезисы докладов X Международ. конференции. – Днепропетровск.: Арт-Пресс, 2000. – С. 82 – 83.

5. Спиридонов Б.К. Устойчивость движения вагона против схода с рельсов и опрокидывания / Уч. пособ. – Гомель: БИИЖТ, 1979. – 32 с.

6. Татуревич А.А. Исследование вопросов устойчивости подвижного состава против схода от вкатывания гребня колеса на рельс по результатам экспертных заключений крушений и аварий. – Проблемы механики железнодорожного транспорта: Динамика, надежность и безопасность подвижного состава / Тезисы докладов X Международ. конференции. – Днепропетровск.: Арт-Пресс, 2000. – С. 105 - 106.

7. Ромен Ю.С., Мутиштейн Л.А., Неверова Л.И. Влияние продольных сил в поездах на опасность схода вагонов в зависимости от их загрузки // Транспорт Российской Федерации, №3 (46). 2013. – С. 64-68.

#### REFERENCES

1. Pogorelov D.Yu., Pavlyukov A.E., Yudakova T.A., Kotov S.B. Modelirovaniye kontaktnykh vzaimodeystviy v zadachakh dinamiki sistem tel [Models rovanie of contact interactions in the tasks of the dynamics of the systems of the bodies] Dinamika. prochnost i nadezhnost transportnykh mashin [Dynamics, strength and the reliability of the cargo vehicles ]. – Bryansk.: BSTU, 2002. - pp. 11-23.

2. Danovich V.D. Otsenka zapasa ustoychivosti ot vkatyvaniya koleasa na rels v utochnennoy postanovke [Evaluation of the stability margin from the rolling in of wheel to the rail in the precise setting]. Problemy mekhaniki zheleznodorozhnogo transporta: Dinamika. nadezhnost i bezopasnost podvizhnogo sostava. Tezisy dokladov X Mezhdunarod. Konferentsii [Problems of the mechanics of rail transport: Dynamics, reliability and safety of rolling stock. Those zisy of the reports X to internat. the conference]. – Dnepropetrovsk.: Art- press, 2000. - 67 p.

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

4. Korotenko M.L. Reydemeyster A.G. Skhod s relsov odinochnoy kolesnoy pary. Sily, vyzyvayushchiye skhod. prodolzhitelnost skhoda [Gathering from the rails of the single of wheels noy of pair. Forces, which cause gathering, the duration of the gathering]. Problemy mekhaniki zheleznodorozhnogo transporta: Dinamika. nadezhnost i bezopasnost podvizhnogo sostava. Tezisy dokladov X Mezhdunarod. Konferentsii [Problems of the mechanics of rail transport: Dynamics, reliability and safety of rolling stock. Those zisy of the reports X to internat. the conference]. – Dnepropetrovsk.: Art- press, 2000. – pp. 82 – 83.

5. Spiridonov B.K. Ustoychivost dvizheniya vagona protiv skhoda s relsov i oprokidyvaniya [Stability of motion of railroad car to the gathering from rel of owls and tilting]. – Gomel: BIIZhT, 1979. – 32 p.

6. Taturevich A.A. Issledovaniye voprosov ustoychivosti podvizhnogo sostava protiv skhoda ot vkatyvaniya grebnya koleasa na rels po rezultatam ekspertnykh zaklyucheniy krusheniy i avariyy [Study of questions of the resistance of mobile from the fixture to the gathering from the rolling in paddle wheel for the rail with respect to the results the ex of the pertnykh conclusions of wrecks and emergencies]. Problemy mekhaniki zheleznodorozhnogo transporta: Dinamika. nadezhnost i bezopasnost podvizhnogo sostava. Tezisy dokladov X Mezhdunarod. Konferentsii [Problems of

the mechanics of rail transport: Dynamics, reliability and safety of rolling stock. Those zisy of the reports X to internat. the conference]. – Dnepropetrovsk.: Art- press, 2000. – pp. 105 - 106.

7. Romen Yu.S.. Mutinshteyn L.A.. Neverova L.I. Vliyaniye prodolnykh sil v poyezdakh na opasnost skhoda vagonov v zavisimosti ot ikh zagruzki [Influence of longitudinal forces in the trains on the danger of gathering railroad cars depending on their load]. Transport Rossiyskoy Federatsii [Transport of the Russian Federation], №3 (46). 2013. – pp. 64-68.

### **Информация об авторах**

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

### **Authors**

*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**

Ермоленко И. Ю. Анализ критериев устойчивости колеса на рельсе применяемых при расследованиях схода подвижного состава [Электронный ресурс] // 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**

Ermolenko I.Yu. Analiz kriteriyev ustoychivosti koleasa na relse primenyayemykh pri rassledovaniyakh skhoda podvizhnogo sostava [Analysis of the criteria of stability of wheel on the rail of those used during the investigations of gathering the rolling stock]. *Molodaya nauka Sibiri: ehlektronnyj nauchnyj zhurnal* [Young science of Siberia: electronic scientific journal], 2018, no. 1. [Accessed 05/10/18]