



Боковой износ головки рельса и устойчивость колеса



Андрей ДИМИТРОВ

Andrey I. DIMITROV

Исследовано влияние бокового износа головки рельса на устойчивость колеса против схода с рельсового полотна. При этом рассмотрены условия предельного равновесия колесной пары в разные моменты нахождения в рельсовой колее, метод определения коэффициента устойчивости колеса на рельсе на различных типах путей при различных величинах бокового износа головки рельса. Предложено математическое толкование силового взаимодействия колес и рельсов, обоснован вывод о том, что оценка устойчивости колесного экипажа находится в определенной зависимости от угловых нагрузок на головку рельса.

Ключевые слова: железная дорога, колесо, рельс, силовое взаимодействие, безопасность движения, оценка рисков, коэффициент устойчивости колеса против схода, боковой износ головки рельса.

Димитров Андрей Игоревич — аспирант кафедры «Управление эксплуатационной работой и безопасностью на транспорте» Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ).

Уровень безопасной эксплуатации подвижного состава на железных дорогах определяется в основном наличием запаса устойчивости рельсового экипажа от схода с рельсов. Рост грузонапряженности и скорости движения приводит к существенному износу техники и пути, повышению вероятности аварий из-за растущего силового взаимодействия колес и рельсов.

Оценка рисков производится при помощи коэффициента запаса устойчивости колеса против схода с рельса. Таким коэффициентом является отношение всех сил, препятствующих подъему колеса, к силам, вызывающим этот подъем.

Силы сопротивления (рис. 1) действуют в плоскости С—С и направлены вниз, в сторону соскальзывания. Силы подъема сосредоточены в той же плоскости, но направлены вверх, в сторону, обратную соскальзыванию гребня.

Рассмотрим условие предельного равновесия колесной пары, когда левое колесо на рельсе А несколько поднялось и опирается на головку своим гребнем в точке О. Внешними, действующими на рельсовые нити, будут следующие силы и моменты.

1. Полная динамическая вертикальная нагрузка колеса на рельс P_1^p , передаваемая

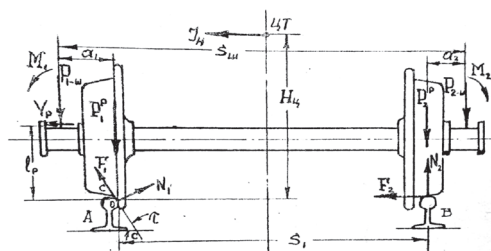


Рис. 1. Расчетная схема определения устойчивости колеса на рельсе.

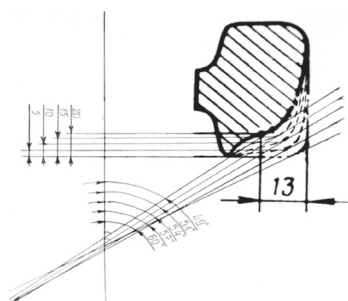


Рис. 2. Зависимость угла τ от величины бокового износа головки рельса.

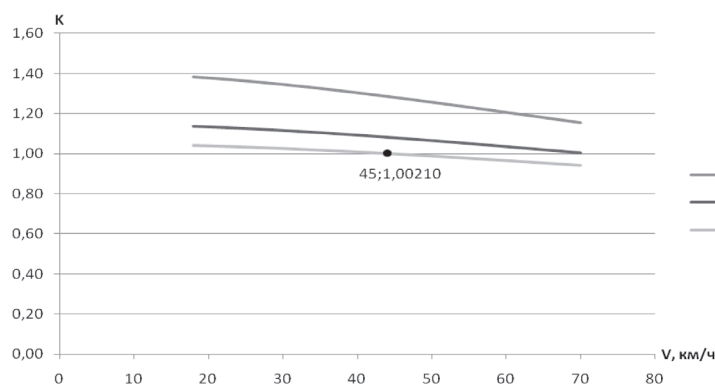


Рис. 3. Снижение скорости при боковом износе 15 мм (порожние вагоны, $R < 350$).

в точке О от левого колеса на головку рельса.

2. Полная динамическая вертикальная нагрузка P_2^p , передаваемая в тот же момент от правого колеса на головку рельса В по кругу катания колеса.

3. Моменты M_1 и M_2 , действующие на рельсы А и В.

Как известно, нагрузка от вагона $P_{1-ш}$ и $P_{2-ш}$ приложена к шейкам оси колесной пары, а ее воздействие на рельсы может быть эквивалентно представлено вертикальными силами P_1^p , P_2^p и моментами $M_1 = P_{1-ш} \cdot a_1$ и $M_2 = P_{2-ш} \cdot a_2$.

4. Динамическая рамная сила $\max Y_p$, приложенная на расстоянии l_p от точки контакта левого колеса с рельсом А. При этом обычно принимают, что $l_p = r_k + r_{ш}$, где r_k — радиус колеса, а $r_{ш}$ — радиус шейки оси; для грузового вагона $l_p = 0,475 + 0,075 = 0,550$ м.

Реакции рельсовых нитей обозначены:

N_1 — нормальная к плоскости С—С реакция рельса А;

N_2 — вертикальная реакция рельса В;

F_1 — сила трения гребня колеса по рабочей грани головки рельса А,

$F_1 = f_p \cdot N_1$,
где f_p — коэффициент трения скольжения гребня колеса по рельсу А;

F_2 — сила трения бандажа колеса по поверхности катания головки рельса В,
 $F_2 = f_p \cdot N_2$.

Силы трения F_1 и F_2 действуют в стороны, обратные направлениям скольжения соответствующих колес. Коничностью колес пренебрегаем.

Далее — об условиях предельного равновесия колесной пары в момент, когда колесо опирается в точке О на рельс А прямолинейной частью гребня и стремится опуститься вниз под действием силы P_1^p . Представим эти условия в виде уравнений проекции на плоскость С—С и на ось, ей перпендикулярную, и уравнений моментов относительно точки О.

$$(P_1^p + P_2^p - N_2) \cdot \sin \tau = F_1 + (Y_p + F_2) \cdot \cos \tau \quad (a);$$





Таблица 1

Коэффициенты запаса устойчивости при боковом износе 15 мм

Радиус R, м	Величина бокового износа, мм	Скорость, км/ч	Непогашенное ускорение, м/с ²	Коэффициент запаса устойчивости		
				K1	K2	K3
340	15	60	0,2	1,20633	1,03703	0,96652
400	15	70	0,33	1,18319	1,02303	0,95569

Рис. 4. Снижение скоростей при боковом износе 15 мм (порожние вагоны, R=400).

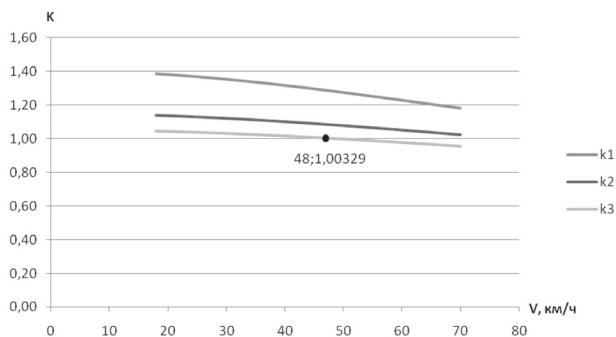
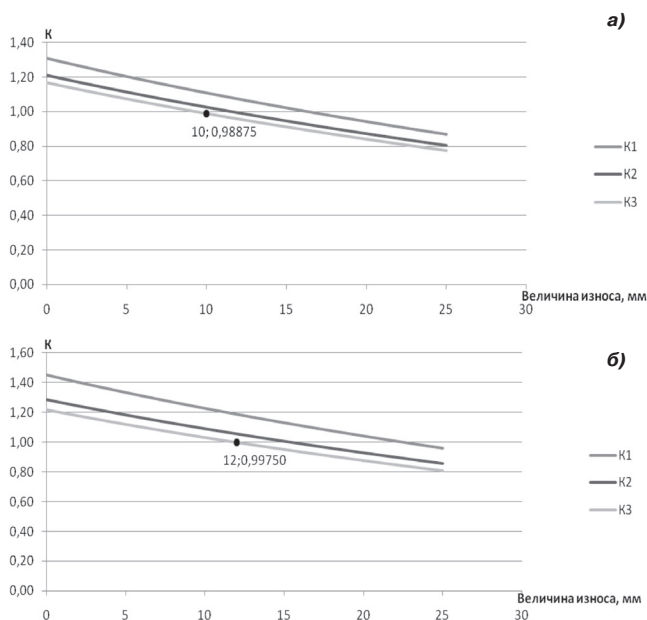


Рис. 5. Зависимость коэффициента устойчивости от бокового износа в главных путях со скоростями движения пассажирских поездов 141-160 км/ч: а) R=340, б) R=800.



$$(P_1^p + P_2^p - N_2) \cdot \cos \tau + (Y_p + F_2) \cdot \sin \tau = N_1 \text{ (б);}$$

$$M_1 + Y_p \cdot l_p = (P_2^p - N_2) \cdot S_1 + M_2 \text{ (в).}$$

Из уравнения (в) находится N_2 . Коэффициент устойчивости против всползания гребня колеса на рельс:

$$K = \frac{(P_1^p + P_2^p - N_2) \cdot \sin \tau}{F_1 + (Y_p + F_2) \cdot \cos \tau} \geq 1 \text{ (г).}$$

При расчетах можно принять угол τ между горизонталью и касательной к головке рельса в точке О касания гребня колеса с рельсом упорной нити при

всползании колеса для вагона $\tau=60^\circ$ (профиль нового рельса). Однако для более точного расчета коэффициента устойчивости стоит учитывать тот факт, что при увеличении величины бокового износа рельса происходит уменьшение угла τ (рис. 2).

В настоящее время на сети железных дорог России, согласно НТД/ЦП-2–93, по рельсам типов Р75 и Р65, имеющим боковой износ от 15 до 20 мм, и типа Р50 с износом от 13 до 18 мм допустимые скорости движения не должны превышать

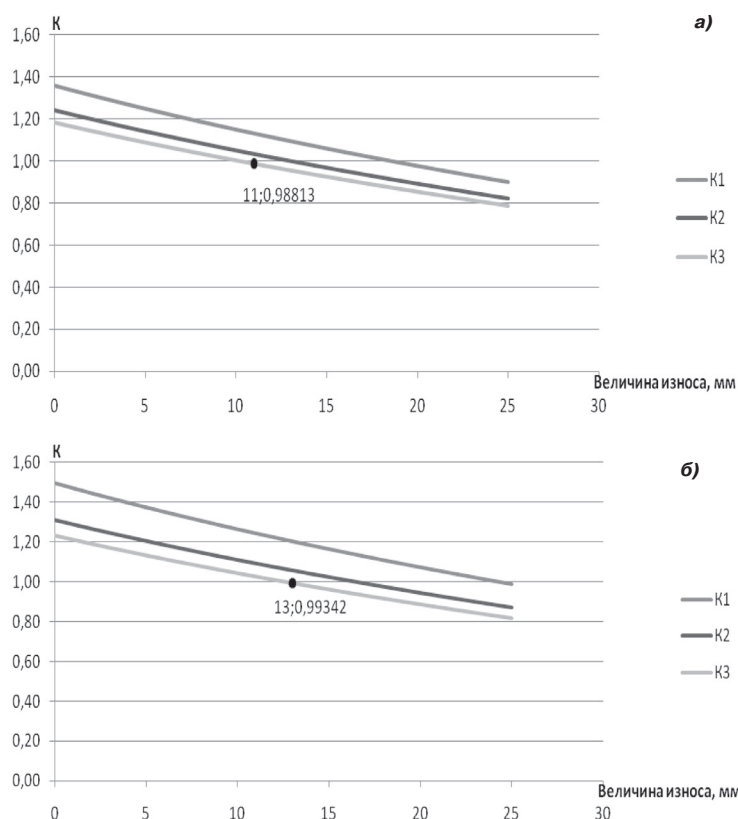


Рис. 6. Зависимость коэффициента устойчивости от бокового износа в главных путях со скоростями движения пассажирских поездов 121–140 км/ч: а) $R=340$, б) $R=800$.

70 км/ч в кривых радиусом более 350 м и 60 км/ч — в кривых меньших радиусов для грузовых поездов.

Определим коэффициент устойчивости против всползания колеса на рельс при величине бокового износа 15 мм на примере крытого четырехосного порожнего вагона, учитывая зависимость величины угла τ от величины бокового износа головки рельса.

Характеристика вагона: масса ($Q_{\text{куз}}$) = 24,5 т; необрессоренный вес, приходящийся на одно колесо (q_k) = 9,95 кН, нагрузка на колесо $P_{\text{ст}} = 115$ кН, высота центра тяжести кузова $H_{\text{ц}} = 2$ м.

Характеристика пути: рельсы Р65, деревянные шпалы 2000 шт./км, возвышение наружного рельса $h = 100$ мм.

Расчет проведем в режиме тяги, свободного хода и торможения поезда при движении по кривым с радиусом 340 и 400 м.

Анализ результатов расчета, приведенных в таблице 1, показывает, что в данных кривых устойчивость колеса на рельсе обеспечена лишь в режиме тяги и свободного хода. Режим торможения недопустим,

так как $K_3 < 1$. Для предотвращения схода подвижного состава требуется ограничение скорости до 45 км/ч в кривых с радиусом менее 350 м и до 48 км/ч — в кривых более 350 м (рис. 3, 4).

Проведем аналогичные расчеты и определим максимальные значения величин бокового износа головки рельса, превышение которых снизит запас устойчивости, что в свою очередь приведет к всползанию колеса на рельс.

Расчеты сделаны с учетом различных типов путей и представлены графически на рис. 5–7.

Конечно, при изучении взаимодействия колес с рельсами можно учитывать и профиль колеса, и дополнительные силы — например, силы проскальзывания или силы инерции, в том числе приведенных масс пути.

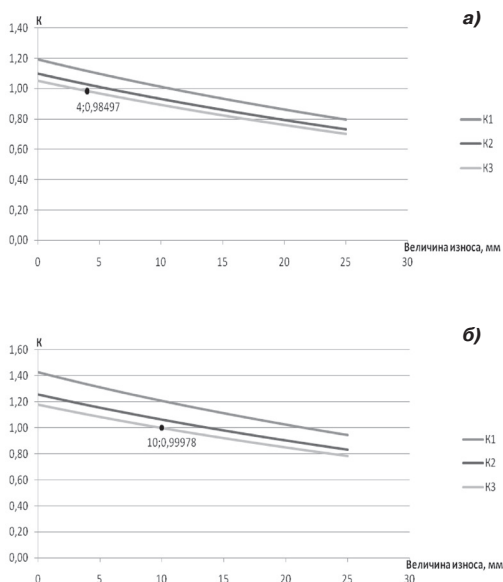
Выводы

Предложено математическое толкование силового взаимодействия колес и рельсов, а также выполнено описание некоторых показателей безопасности движения рель-





Рис. 7. Зависимость коэффициента устойчивости от бокового износа в главных и приемоотправочных путях с грузонапряженностью более 25 млн т•км брутто/км в год и скоростями движения 120 км/ч и менее: а) R=340, б) R=800.



совых экипажей. При этом получен вывод о том, что для более объективной оценки устойчивости колеса на рельсе следует учитывать зависимость угла τ от бокового износа головки рельса.

ЛИТЕРАТУРА

1. Классификация дефектов рельсов НТД/ЦП-1-93. Каталог дефектов рельсов НТД/ЦП-2-93.

Признаки дефектных и острodefekтных рельсов НТД/ЦП-3-93. — М.: Транспорт, 1993. — С. 7-9.

2. Воробьев Э. В., Никонов А. М. Обеспечение безопасности поездов в кривых. Методические указания. — М., 1996. — 38 с.

3. Болотин В. И., Лаптев В. А., Лысюк В. С. Путь и безопасность движения поездов. — 3-е изд., перераб. и доп. — М.: Транспорт, 1994. — 98 с.

4. Износ рельсов и колес подвижного состава/Под ред. К. Л. Комарова и Н. И. Карпущенко. — Новосибирск: СГАПС, 1997. — 135 с.

LATERAL DETERIORATION OF A RAIL HEAD AND STABILITY OF A WHEEL

Dimitrov, Andrey I. — Ph.D. student at the department of operation control and safety management of Moscow State University of Railway Engineering (MIIT), Moscow, Russia.

The study is devoted to the impact of lateral wear and tear of the rail head on the resistance of a wheel against derailment. Particularly, are considered conditions of limit equilibrium of a wheel pair at different moments of its situation on the rails; method of determining of wheel stability index at different types of tracks and at different

values of lateral deterioration of a rail head. The author puts forward a mathematical interpretation of interaction of the forces of wheels and rails and substantiates a conclusion that the evaluation of a stability of a wheel vehicle has a determinable dependence on angular load on rail heads.

Key words: railway, wheel, rail, interaction of forces, traffic safety, risk evaluation, index of resistance of the wheel against derailment, lateral wear and tear of a rail head.

REFERENCES

1. Classification of rail defects [Klassifikatsiya defektov rel'sov NTD/TsP — 1-93. Katalog defektov rel'sov NTD/TsP-2-93. *Priznaki defektnykh i ostrykh defektnykh rel'sov NTD/TsP-3-93*]. Moscow, Transport publ., 1993, pp.7-9.

2. Vorobiev E. V., Nikonov A. M. Ensuring safety of the trains in curves. Methodical regulations [*Obespechenie bezopasnosti poezdov v krivykh. Metodicheskie ukazaniya*]. Moscow, 1996, 38 p.

3. Bolotin V. I., Laptev V. A., Lysyuk V. S. The track and the traffic safety of trains [*Pui' i bezopasnost' dvizheniya poezdov*]. 3d ed., rev. and enlarged. Moscow, Transport publ., 1994, 98 p.

4. Wear and tear of the wheels of rolling stock [*Iznos rel'sov i koles podvizhnogo sostava*]. Ed. by K. L. Komarova and N. I. Karpuschenko. Novosibirsk, SGAPS, 1997. 135 p.

Координаты автора (contact information): Димитров А. И. (Dimitrov A. I.) — (499) 204-99-75

Статья поступила в редакцию / article received 21.12.2012
Принята к публикации / article accepted 14.02.2013