

10. **Исследование** напряженного состояния пятна контакта колеса и рельса / А. А. Воробьев, П. Г. Сорокин // Новые материалы и технологии в машиностроении : сб. науч. трудов / ред. Е. А. Памфилов. – Вып. 3. – Брянск : БГИТА, 2004. – С. 8–18.

11. **Напряженно-деформированное** состояние и прочность режущих элементов инструмен-

тов / Е. В. Артамонов, И. А. Ефимович, Н. И. Смолен, М. Х. Утешев. – М. : ООО «Недра. Бизнес-центр», 2001. – 199 с.

12. **Повышение** качества инструмента и эффективности его применения на основе системного подхода / Г. Л. Хаев, И. А. Ординарцев // Станки и инструмент. – 1983. – № 7. – С. 10–13.

УДК 625.032.32

А. В. Саидова, А. М. Орлова

Петербургский государственный университет путей сообщения

УТОЧНЕНИЕ НЕКОТОРЫХ ПАРАМЕТРОВ МОДЕЛИ ИЗНАШИВАНИЯ КОЛЕС ГРУЗОВОГО ВАГОНА

Представлена теория изнашивания, используемая при моделировании износа колес грузовых вагонов. На основе результатов расчетов мощности сил трения в контакте колес с рельсами, отнесенной к площади пятна контакта, определена точка перехода между слабой и сильной стадиями износа. Дополнительно исследовано влияние величины неровностей рельсовых нитей на износ.

износ колес, моделирование износа, стадии износа, тележка модели 18-9855.

Введение

Существует немалое количество гипотез и теорий изнашивания колес вагонов, большинство из которых базируется на предположении о том, что объем изношенного материала пропорционален работе сил трения в контакте колеса с рельсом [1], [2]. Теория износа Арчарда [3] является одной из наиболее популярных и достоверных. В ней учтены слабая и сильная стадии износа, причем точка перехода между этими стадиями определяется экспериментально. Отсутствие данных о такой точке, а также коэффициентах износа для слабой и сильной стадий для условий эксплуатации вагонов на российских железных дорогах делает задачу уточнения параметров модели изнашивания колес актуальной.

В статье решена задача нахождения значения мощности сил трения в контакте колеса

с рельсом, отнесенной к площади пятна контакта, тележки модели 18-9855 с допускаемой осевой нагрузкой 25 тс в условиях ее пробега под порожним и груженым универсальным полувагоном, при котором происходит переход от слабого износа к сильному. Дополнительно исследовано влияние величины неровностей пути на износ колес.

1 Методика определения точки перехода от слабого износа к сильному и исходные данные для расчетов

Результаты обмеров профилей колес тележек 18-9855 после пробега под груженым полувагоном по экспериментальному кольцу ВНИИЖТа (53 000 км) показали [4], что износ гребня ведущих набегających колес (в первой и третьей колесных парах по

ходу движения) больше такового для ненабегающих колес более чем в 5 раз, а износ поверхности катания – приблизительно в 2 раза. Это говорит о том, что при прогнозировании износа колес учет движения вагонов в кривых требует задания различных коэффициентов пропорциональности между объемом изношенного материала и работой сил трения в контакте для ненабегающих и набегающих колес (слабый износ на ненабегающем колесе и сильный – на набегающем), а также точки перехода между ними.

Точка перехода между двумя стадиями износа задается значением мощности сил трения в контакте *колесо–рельс*, отнесенной к площади пятна контакта. В работах [5] и [6] было получено, что эта величина при переходе от слабой стадии износа к сильной составляет $4 \cdot 10^4$ Вт/м² и $4 \cdot 10^6$ Вт/м² соответственно, что говорит о большом разбросе возможных ее значений (от 10^4 до 10^6 Вт/м²) для различных профилей, материалов колес, условий эксплуатации и т. п.

Определение переходного значения мощности, отнесенной к площади пятна контакта, для тележки модели 18-9855 проводилось методом математического моделирования в программном комплексе MEDYNA [7]. Для расчета были использованы нелинейные математические модели порожнего и груженого универсального полувагона на рассматриваемых тележках с осевыми статическими нагрузками 6 тс (58,86 кН) и 25 тс (245,25 кН) соответственно [8]. Неизношенный профиль колес принимался по ГОСТ 10791 [9], профиль рельса – Р65. Движение вагонов осуществлялось со скоростью 70 км/ч на прямом участке пути и в кривых радиусами 956 м (имитация экспериментального кольца в г. Щербинка), 650 м и 350 м. Длина прямого участка пути в кривых малого и среднего радиуса (650 м и 350 м) составила 20 м, переходного – 100 м, возвышение наружного рельса – 150 мм.

Мгновенная мощность сил трения в контакте колеса с рельсом, отнесенная к площади контакта, определялась для каждого пятна контакта (на поверхности катания и на гребне) по формуле:

$$P = \frac{P_k \cdot v_0}{F}, \quad (1)$$

где v_0 – скорость движения вагона, м/с; F – площадь пятна контакта колеса и рельса, м²; P_k – фактор износа, Н,

$$P_k = s_x \cdot T_x + s_y \cdot T_y, \quad (2)$$

здесь $s_{x/y}$ – продольное/поперечное псевдопоскальзывание (крип) в пятне контакта; $T_{x/y}$ – сила крипа в продольном/поперечном направлении, Н.

Затем вычислялось среднее значение P за время движения для каждого пятна контакта.

Переходное значение мощности сил трения, отнесенной к площади пятна контакта, подбиралось таким образом, чтобы распределение интенсивности износа набегающих и ненабегающих колес в зонах гребней и поверхностей катания соответствовало наблюдаемому в эксплуатации.

2 Результаты расчетов переходного значения мощности сил трения в контакте *колесо–рельс*, отнесенной к площади пятна контакта

Результаты расчета средней мощности сил трения в контакте *колесо–рельс*, отнесенной к площади пятна контакта, первой по ходу движения (подверженной наиболее интенсивному износу) колесной пары полувагона в различных режимах его движения представлены в таблице 1.

Анализ результатов расчета показывает, что среднее значение мощности сил трения, отнесенной к площади пятна контакта, на поверхности катания левого и правого колес в прямых участках пути приблизительно одинаковы и составляют не более 7 МВт/м². В кривых участках пути мощность, отнесенная к площади, на поверхности катания набегающего колеса выше таковой для ненабегающего: 7,2...20,2 Вт/м² по сравнению с 3,8...6,2 Вт/м² для кривых большого и среднего радиусов и 18,0...20,2 Вт/м² по сравнению с 6,0...9,7 Вт/м² для кривых

ТАБЛИЦА 1. Результаты расчета средней мощности сил трения, отнесенной к площади пятна контакта

Режим движения	Значение средней мощности сил трения, отнесенной к площади пятна контакта, МВт/м ² , на колесе					
	слева (набегающее)			справа (ненабегающее)		
	Поверхность катания	Гребень, первое пятно контакта	Гребень, второе пятно контакта	Поверхность катания	Гребень, первое пятно контакта	Гребень, второе пятно контакта
Груженный вагон, прямая	6,3	119,0	0,0	6,4	101,0	0,0
Груженный вагон, кривая радиусом 956 м	7,2	78,1	0,0	6,2	79,0	0,0
Груженный вагон, кривая радиусом 650 м	20,2	78,7	1350,0	4,0	72,7	0,0
Груженный вагон, кривая радиусом 350 м	40,1	133,0	2630,0	9,7	82,3	0,0
Порожний вагон, прямая	6,7	67,0	0,0	6,0	68,3	0,0
Порожний вагон, кривая радиусом 956 м	7,4	58,8	0,0	5,4	80,9	0,0
Порожний вагон, кривая радиусом 650 м	9,0	150,0	0,0	3,8	890,0	0,0
Порожний вагон, кривая радиусом 350 м	18,0	210,0	0,0	6,0	1270,0	0,0

малого радиуса. Это означает, что, приняв значение мощности, отнесенной к площади пятна контакта, 7,0 МВт/м² в качестве переходного между слабой и сильной стадиями износа, получим:

– слабый износ на поверхности катания и сильный на гребнях колес при движении вагона по прямым участкам пути;

– слабый износ на поверхности катания ненабегающего колеса и сильный на поверхности катания набегающего колеса и гребнях обоих колес при движении вагона в кривых большого и среднего радиусов;

– либо слабый, либо сильный износ на поверхности катания ненабегающего колеса и сильный на поверхности катания набегающего колеса и гребнях обоих колес при движении вагона в кривых малого радиуса.

Полученное распределение интенсивностей износа между набегающими и нена-

бегающими колесами, а также между их гребнями и поверхностями катания соответствует наблюдаемому в испытаниях [4], что подтверждает правильность выбранного переходного значения мощности сил трения, отнесенной к площади пятна контакта.

3 Исследование влияния величины неровностей пути на износ

Обзор работ в области моделирования износа колес [2] показал необходимость исследования влияния величины неровностей пути на него при движении вагона по круговому пути с постоянным радиусом.

Для этого были проведены три варианта расчета износа колес груженого универсального полувагона на тележках 18-9855, движущегося со скоростью 70 км/ч по круговому

участку пути радиусом 956 м (имитация экспериментального кольца ВНИИЖТа, г. Щербинка) с неровностями согласно РД 32.68 [10] в первом случае, с увеличенными в 1,5 раза неровностями – во втором и уменьшенными в 2 раза – в третьем. Изменение величины неровностей в модели задавалось соответствующим масштабирующим коэффициентом. Профили первых по ходу движения наружных колес, полученные после пробега около 50 тыс. км, в сравнении с новым неизношенным профилем по ГОСТ 10791 [9] показаны на рисунке.

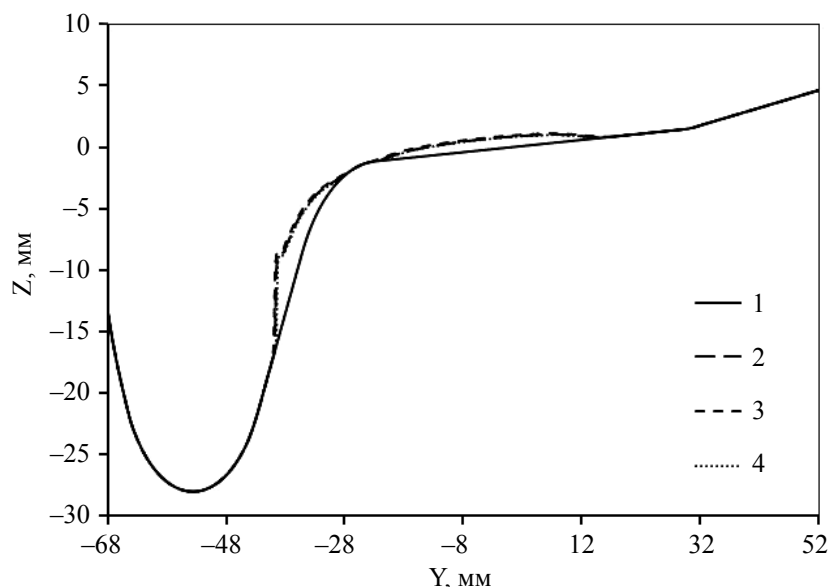
Линейный износ колес определялся на расстоянии 18 мм от вершины гребня колеса (износ гребня) и 70 мм от наружной грани колеса (износ поверхности катания). Анализ результатов расчета показывает, что полученные профили колес для всех трех случаев отличаются между собой не более чем на 5%, что позволяет сделать вывод о незначительности влияния величины неровностей на износ при движении вагона по круговому пути и об отсутствии необходимости учитывать величину неровностей пути при поиске сходимости результатов натурального и численного экспериментов.

Заключение

Методом математического моделирования движения порожнего и груженого полувагона на тележках 18-9855 по прямым и криволинейным участкам пути определено значение мощности сил трения в контактах колес с рельсами, отнесенной к площади пятна контакта, при котором происходит переход от слабой стадии износа к сильной. Предложено использовать значение 7 МВт/м^2 . Полученное распределение интенсивностей износа между набегающим и ненабегающим колесами, а также между их гребнями и поверхностями катания соответствует наблюдаемому в эксплуатации.

Анализ результатов расчета износа профилей колес грузового вагона при его движении по круговому участку пути с постоянным радиусом показал, что величина неровностей пути не оказывает существенного влияния на износ колес (для рассмотренных случаев расхождение по линейному износу составило не более 5%).

Дальнейшее уточнение модели изнашивания будет производиться по выбору коэффициентов износа для двух стадий и коэф-



Профили колес при различных величинах неровностей пути:
 1 – неизношенный профиль; 2 – профиль при неровностях по РД 32.68; 3 – профиль при увеличенных неровностях; 4 – профиль при уменьшенных неровностях

фициентов трения на гребне и поверхности катания колеса на основе сравнения результатов расчетов с результатами эксперимента на кольце ВНИИЖТа.

Библиографический список

1. **Контактные** задачи железнодорожного транспорта / В. И. Сакало, В. И. Коссов. – М. : Машиностроение, 2004. – С. 448–449.

2. **Классификация** работ в области расчетных и экспериментальных методов определения износа профилей колес грузовых вагонов / Орлова А. М., Саидова А. В. // Тез. докладов Международ. науч.-техн. конф. «Подвижной состав XXI века: идеи, требования, проекты», Санкт-Петербург, 06.07–10.07.2011. – СПб. : ПГУПС, 2011. – С. 49–50.

3. **Elastic** deformation and the laws of friction / J. E. Archard // Proc. Royal Society. – London, 1957. – Ser. A243. – PP. 190–205.

4. **Результаты** обмеров поверхности катания колес опытной тележки : отчет о НИР ; тема № 797 / ПГУПС ; рук. М. В. Малахов ; исполн. : Е. П. Дудкин, К. Э. Аракелян – СПб., 2010. – 38 с. – Библиогр. : с. 5.

5. **Beitrag** zur rechnerischen Bestimmung des Rad-und Schienen-Verschleisses durch Guterwagen-

drehgestelle : Diss. / W. Specht. – Aachen, 1985. – 116 S.

6. **Verschleis** von Eisenbahnradern mit Unrundheiten : Diss. – ETH Nr. 12342 / C. Linder. – Zurich, 1997. – 127 S.

7. **Компьютерное** моделирование задач динамики железнодорожного подвижного состава. Ч. 3. Моделирование динамики грузовых вагонов в программном комплексе MEDYNA : учеб. пособие / В. С. Лесничий, А. М. Орлова. – СПб. : ПГУПС, 2002. – 35 с.

8. **Разработка** математических моделей вагонов на тележках 18-9810 и 18-9855 для исследования износов колес / Саидова А. В., Орлова А. М. // Тез. докладов XIII международной конференции «Проблемы механики железнодорожного транспорта. Безопасность движения, динамика, прочность подвижного состава и энергосбережение», Днепропетровск, 23.05–25.05.2012. – Днепропетровск : Днепропетр. нац. ун-т ж.-д. трансп. им. акад. В. Лазаряна, 2012. – С. 128–129.

9. **ГОСТ 10791–2011**. Колеса цельнокатаные. Технические условия. – Введ. 2012-01-01 – М. : Стандартиформ, 2011. – 33 с.

10. **РД 32.68–96**. Расчетные неровности железнодорожного пути для использования при исследованиях и проектировании пассажирских и грузовых вагонов. – Введ. 1997-01-01 – М., 1996. – 17 с.

УДК 625.17

И. А. Симонюк

Петербургский государственный университет путей сообщения

ИССЛЕДОВАНИЕ ИЗМЕНЕНИЯ ТЕХНИЧЕСКОГО СОСТОЯНИЯ РЕЛЬСОВОЙ КОЛЕИ В ПЕРИОД МЕЖДУ РЕМОНТАМИ ПРИ РАЗЛИЧНЫХ КОНСТРУКЦИЯХ ПУТИ И УСЛОВИЯХ ЭКСПЛУАТАЦИИ

Рассмотрены результаты исследований зависимости количества отступлений положения рельсовой колеи от пропущенного тоннажа между капитальным и промежуточным ремонтами пути. Зависимости выявлены при различных конструкциях пути и эксплуатационных условиях.

рельсовая колея, количество отступлений, пропущенный тоннаж, конструкция пути, план и профиль пути, ширина колеи, рихтовка пути, выправка пути, графики зависимостей.