

Тепловые и деформационные процессы в ЦКК при длительном торможении



Андрей САВРУХИН
Andrey V. SAVRUKHIN

Роман ЕФИМОВ
Roman A. EFIMOV



Алексей НЕКЛЮДОВ
Aleksei N. NEKLYUDOV

Саврухин Андрей Викторович – доктор технических наук, профессор Московского государственного университета путей сообщения (МИИТ), Москва, Россия.
Ефимов Роман Александрович – ассистент МИИТ, Москва, Россия.
Неклюдов Алексей Николаевич – кандидат технических наук, доцент МИИТ, Москва, Россия.

Thermal and Deformation Processes in Wrought Wheels during Extended Braking
(текст статьи на англ. яз. – English text of the article – p. 48)

В продолжение публикаций об исследованиях ученых МИИТ, которые посвящены оценке влияния условий длительного торможения грузового вагона на кинетику тепловых и деформационных процессов в системе «тормозная колодка–колесо» («МТ», 2014, № 5, с. 22–37; 2015, № 1, с. 56–62), авторы знакомят с анализом влияния геометрии диска цельнокатаного колеса (ЦКК) на максимальные значения деформаций обода в момент окончания торможения. На основе полученных данных дается заключение о максимальном тепловложении именно в ободу ЦКК, оцениваются последствия смещений и перемещений элементов колеса в зависимости от конструктивных их особенностей и степени влияния на безопасность движения.

Ключевые слова: железная дорога, вагон, цельнокатаное колесо, кинетика, тепловложение, деформация, торможение.

Железнодорожные цельнокатаные колёса (ЦКК) относятся к наиболее ответственным элементам конструкции подвижного состава, от надёжности которых во многом зависит безопасность движения. В процессе эксплуатации они подвергаются значительным тепловым воздействиям в результате торможения (система «тормозная колодка–колесо») и механическим нагрузкам в процессе взаимодействия колеса и рельса.

В МИИТ выполнен ряд исследований в области оценки влияния параметров торможения на кинетику тепловых и деформационных процессов с учетом геометрии диска колеса. Современные технические средства и методы не позволяют осуществлять анализ распределения тепловых процессов по всему объему колеса в период реализации торможения и проводить прямые измерения деформаций элементов ЦКК в конце торможения грузового вагона.

В публикуемой статье представлен анализ влияния геометрии диска колеса

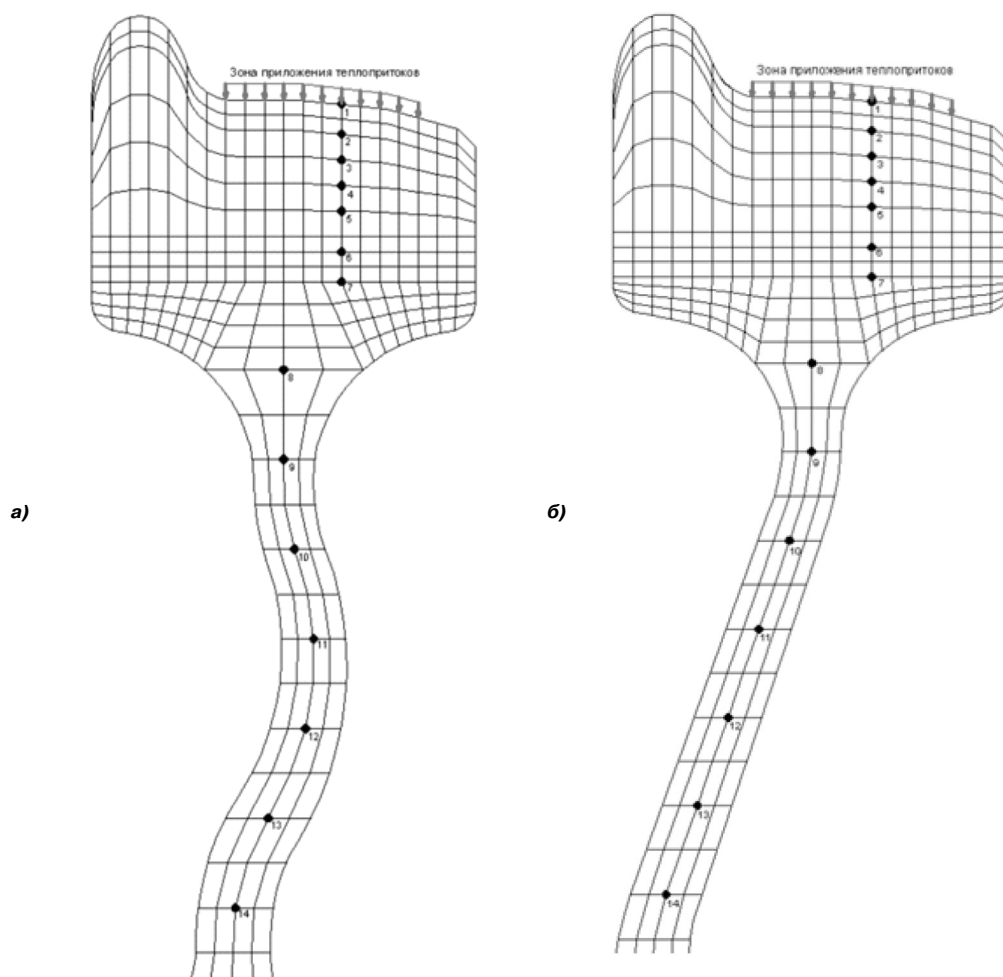


Рис. 1. Схемы приложения тепловых нагрузок при компьютерном моделировании на ЦКК: а) с криволинейной формой диска, б) с прямолинейной формой диска.

на максимальные значения деформаций обода в момент окончания длительного торможения. Результаты получены с помощью методического обеспечения, которое разработано в МИИТ, и созданного на его основе программного комплекса SANAK. Компьютерное моделирование осуществлялось с использованием объёмных конечно-элементных моделей цельнокатанных колес диаметром 950 мм с прямолинейной и криволинейной формами диска по размерам, указанным в ГОСТ 10791-2011 [1]. Особенности взаимодействия в системе «колесо-рельс», а также износ колеса в процессе эксплуатации не учитывались (толщина обода 70 мм).

При определении уровня тепловых нагрузок на колесо грузового вагона во время длительного торможения для компьютер-

ного моделирования принимались следующие условия:

- применение композиционных тормозных колодок предполагает, что 90–95% выделяемого при торможении тепла в паре колодка-колесо передается в обод колеса;
- применение композиционных колодок для грузовых вагонов с авторежимом, включенном на средний режим, предусматривает расчетное значение коэффициента силы нажатия тормозных колодок 0,22 [2];
- расчёт параметров тепловложений в колесо ориентирован, согласно [3,4], на длительное торможение на затяжном спуске $i=20\%$, скорость 70 км/ч и время действия тормозных колодок на обод колеса 1200 с; относительная удельная мощность тепловыделения: $q_1^{*cp} = 17,7 \text{ Вт} / \text{см}^2$.

Схемы приложения тепловых нагрузок при компьютерном моделировании пред-



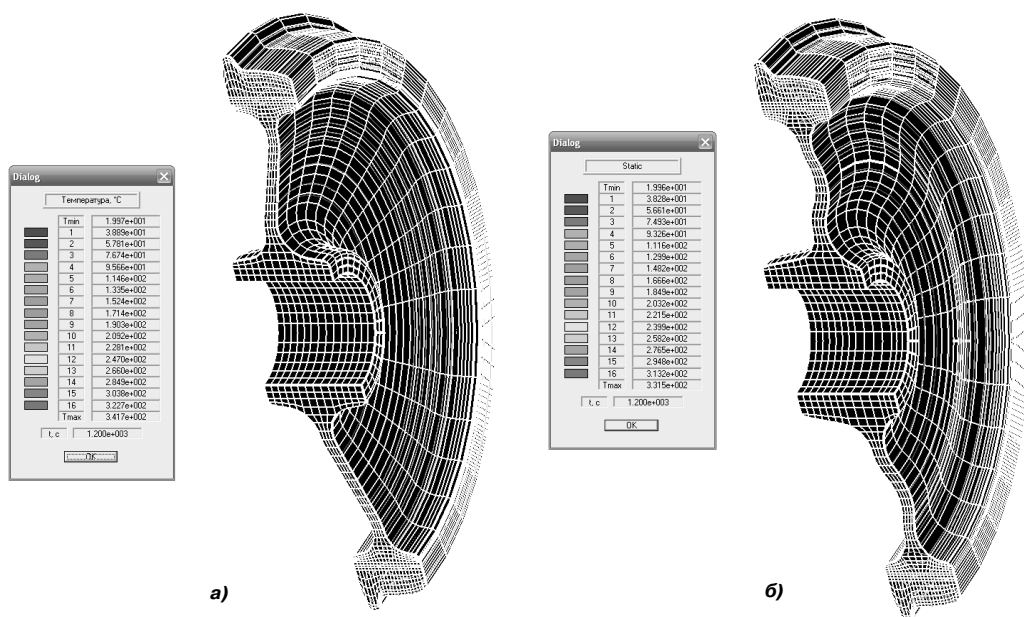


Рис. 2. Распределение температур в объемной конечно-элементной модели цельнокатаного колеса в момент окончания длительного торможения: а) прямолинейный диск; б) криволинейный диск.

ставлены на рис. 1. Суммарная площадь охлаждающей поверхности в рассмотренных конструкциях ЦКК практически одинаковая. В результате расчетов получено: в ЦКК с прямолинейной формой диска максимальная температура составила 331°C, а с криволинейной — 341°C. Поскольку разница максимальных температур не превышает 3%, можно сделать вывод, что форма диска не влияет существенным образом на распределение температур в ЦКК при торможении. На рис. 2 даны изолинии температур по сечению и боковой поверхности колес в объемной конечно-элементной модели.

Кинетика тепловых процессов в ЦКК и неравномерный нагрев отдельных элементов (обод, диск, ступица) являются причиной кинетики деформационных процессов в колесе. Анализ результатов компьютерного моделирования с использованием объемной конечно-элементной модели показал, что наибольший уровень деформаций отмечается в диске колеса, и это прямое следствие процессов теплового расширения обода ЦКК.

На рис. 3 представлено смещение обода колеса относительно первоначального положения в конце длительного торможения для двух рассмотренных конструкций ЦКК. Очевидно, что тепловые процессы

приводят к смещению обода в направлении от ступицы и в сторону соседнего колеса колесной пары (рис. 3а, б). Анализ позволяет установить, что максимальные перемещения обода зависят от конструкции цельнокатаных колес. Так, максимальное перемещение обода колеса с прямолинейным диском в осевом направлении в сторону соседнего колеса составило 2,61 мм (рис. 3г), а с криволинейным диском — 1,35 мм (рис. 3в). Таким образом, суммарное смещение двух колес одной пары для ЦКК с прямолинейным диском — 5,22 мм, криволинейным — 2,7 мм. Деформации в радиальном направлении в конце длительного торможения для колеса с прямолинейным диском оказались 1,19 мм, а с криволинейным — 0,91 мм.

ВЫВОДЫ

1. В результате длительного торможения максимальные значения температур на поверхности колеса достигают значений выше 300°C. Максимальное тепловложение отмечается в ободе ЦКК.

2. Конструкция диска не влияет на максимальные значения температур на поверхности колеса.

3. Деформационные процессы в ЦКК в момент окончания длительного торможения приводят к смещению обода к оси

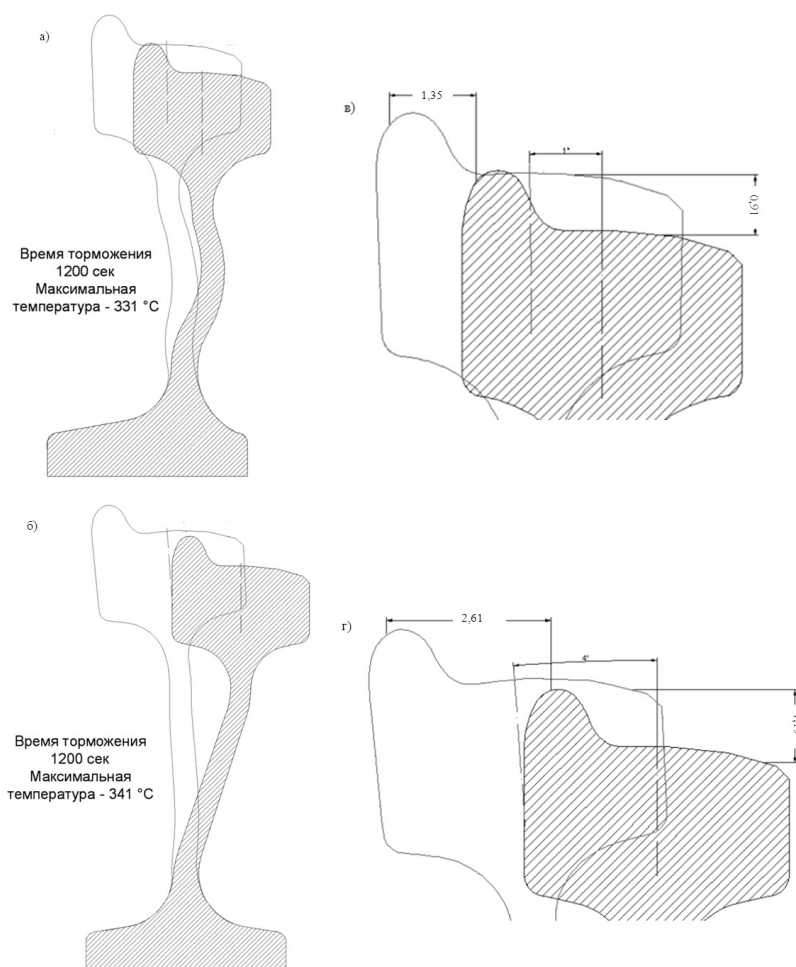


Рис. 3. Деформации цельнокатанных колес в результате тепловых нагрузок при длительном режиме торможения, увеличенные в 30 раз: а) с криволинейной формой диска; б) с прямолинейной формой диска; в) в обод (колесо с криволинейным диском), в мм; г) в обод (колесо с прямолинейным диском), в мм.

колесной пары и увеличению диаметра колеса. Максимальные значения перемещений обода существенно зависят от конструкции диска колеса. Суммарные перемещения обода с прямолинейным диском превосходят аналогичные перемещения обода с криволинейным диском.

4. Перемещения в осевом направлении обода колеса приводят к тому, что расстояние между внутренними поверхностями гребней колес уменьшается с 1440 на 2,7 мм (криволинейный диск) и 5,22 мм (прямолинейный диск). В сочетании с уширением колеи в кривых участках железнодорожно-

го пути это может оказывать влияние на безопасность движения.

ЛИТЕРАТУРА

1. ГОСТ 10791-2011. «Колеса цельнокатанные. Технические условия».
2. Цельнокатанные железнодорожные колёса. Изготовление, эксплуатация, восстановление, обеспечение надёжности / Под общ. ред. С. Н. Киселёва. — Казань: Печать-Сервис-XXI век, 2009. — 265 с.
3. Расчёт и проектирование пневматической и механической частей тормозов вагонов: Учеб. пособие / П. С. Анисимов, В. А. Юдин, А. Н. Шамаков, С. Н. Коржин; под ред. П. С. Анисимова. — М.: Маршрут, 2005. — 248 с.
4. Иноземцев В. Г., Казаринов В. М. Автоматические тормоза: Учебник. — М.: Транспорт, 1981. — 464 с.

Координаты авторов: Саврухин А. В. – SAV_AV@mail.ru, Ефимов Р. А. – r.efimov@profkom.com, Неклюдов А. Н. – alexis-skin@mail.ru.

Статья поступила в редакцию 31.10.2014, принята к публикации 22.01.2015.

