

ОПРЕДЕЛЕНИЕ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ КОЛЕСА ГРУЗОВОГО ВАГОНА ОТ РЕАКЦИИ РЕЛЬСА



С.Н. Коржин



О.И. Мироненко

Рассматривается напряженно-деформированное состояние колеса при влиянии грузового вагона. При моделировании напряженно-деформированного состояния данный режим характеризуется изменением точки приложения реакции рельса и возможным появлением боковой составляющей реакции рельса при контакте гребня колеса с рельсом. Результаты показывают сильное воздействие влияния вагона на напряженно-деформированное состояние колеса.

Ключевые слова: метод конечных элементов, напряженно-деформированное состояние, реакция рельса, диск колеса, обод колеса

DOI: 10.53883/20749325_2021_04_08

Рассмотрение напряженно-деформированного состояния колеса грузового вагона под действием реакции рельса представляет определенный интерес. Данное состояние отличается изменением точки приложения реакции рельса, а также появлением боковой составляющей реакции при контакте гребня колеса с рельсом.

Моделирование напряженно-деформированного состояния колеса грузового вагона основывается на применении метода конечных элементов [1]. Расчетная схема изображена на рис. 1.

Диск колеса грузового вагона аппроксимируется оболочечными элементами в виде усеченных кону-

сов (в нашем случае – плоских колец) на основе моментной теории оболочек [2], а обод колеса представлен одним элементом в виде кольцевого стержня на основе гипотезы плоских сечений.

Аппроксимация перемещений оболочечных элементов принимается в виде тригонометрических рядов по окружности и полиномами Эрмита вдоль образующей, а разрешающая система уравнений – на основе принципа Лагранжа. Вклад от одного оболочечного элемента имеет вид [4]:

$$\frac{\partial \Pi}{\partial \bar{W}} - \frac{\partial A}{\partial \bar{W}} = 0, \quad (1)$$

Коржин Сергей Николаевич, кандидат технических наук, доцент, директор Центра координации деятельности диссертационных советов, доцент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Института транспортной техники и систем управления Российского университета транспорта (ИТТСУ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: технология ремонта ходовых частей нетягового подвижного состава железных дорог, повышение износостойкости и оптимизация профиля катания железнодорожных колес. Автор 14 научных работ.

Мироненко Олег Игоревич, кандидат технических наук, доцент кафедры «Нетяговый подвижной состав» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: динамика систем, организация вагонной отрасли, дистанционные образовательные технологии. Автор 24 научных работ, в том числе четырех учебных пособий.

Меланин Виктор Михайлович, кандидат технических наук, доцент кафедры «Вагоны и вагонное хозяйство» Института транспортной техники и систем управления Российского университета транспорта (ИТТСУ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: динамика систем, организация вагонной отрасли. Автор 30 научных работ, в том числе пяти учебных пособий.

Беспалько Сергей Валерьевич, доктор технических наук, профессор, профессор кафедры «Нетяговый подвижной состав» Российской открытой академии транспорта Российского университета транспорта (РОАТ РУТ (МИИТ)). Область научных интересов: строительная механика вагона, динамика вагона, вопросы безопасности перевозки опасных грузов. Автор 61 научной работы.

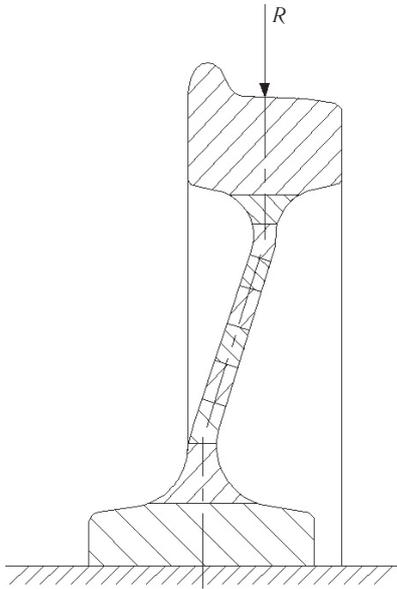


Рис. 1. Расчетная схема колеса грузового вагона

где $\Pi = \frac{1}{2} \int_0^L \int_0^{2\pi} \bar{w}^T [\Phi]^T [d]^T [B][d][\Phi] \bar{w} R d\beta d\xi$ – потенци-

альная энергия деформации элемента оболочки:

$[\Phi]$ – матрица функций формы перемещений;

$[d]$ – матрица, преобразующая перемещения в деформации;

$[B]$ – матрица жесткостных параметров оболочки;

\bar{w}^T – вектор узловых перемещений;

R – радиус оболочки;

L – длина элемента вдоль образующей;

β – угловая координата оболочки по окружности;

$A = \bar{R}^T [\Phi] \bar{w}$ – работа внешних сил:

$\bar{R} = \{P_u; P_v; P_w\}$ – вектор реакций рельса, действующих на обод;

P_u – горизонтальная (боковая) реакция;

P_v – тангенциальная реакция;

P_w – радиальная реакция.

Для обода колеса выражение потенциальной энергии не содержит интегрирования по координате ξ .

Разрешающая система уравнений имеет вид:

$$[r] \bar{w} = \bar{P}, \quad (2)$$

где $[r]$ – матрица жесткости;

\bar{P} – вектор внешних нагрузок;

\bar{w} – вектор узловых перемещений конструкции в целом.

Матрица жесткости и вектор внешних нагрузок для конструкции в целом формируют матрицу конечных элементов в соответствии со структурой вектора узловых перемещений конструкции.

Система уравнений (2) разрешается относительно вектора узловых перемещений для каждой гармоники m . После этого определяются все параметры напряженно-деформированного состояния колеса грузового вагона.

Эта методика была применена для расчета колеса грузового вагона в условиях виляния. При этом реакции от рельса полагались действующими статически. Это обусловлено их плавным изменением по сравнению с собственными колебаниями колеса грузового вагона.

Рассматривалось два варианта колес грузовых вагонов:

- с новым ободом «новое»;
- с максимально изношенным ободом «изношенное».

Они отличаются геометрическими характеристиками поперечного сечения обода.

Во всех вариантах удерживались гармоники до девятой включительно. Для получения нулевой гармоники рассматривалось действие на колесо грузового вагона соответствующей осесимметричной нагрузки, распределенной по окружности катания. Первая гармоника находилась через рассмотрение колеса как балки переменного сечения.

Вертикальная реакция рельса принималась равной 123 кН, а расстояние точки приложения силы до гребня колеса грузового вагона варьировалось, при приложении реакции вблизи гребня учитывалась возможность появления одновременно с ней горизонтальной составляющей реакции, равной по модулю 69 кН.

На рис. 2 показан закон изменения по нижней образующей напряжений в диске «нового» колеса при действии радиальной нагрузки вдали от гребня. Сплошной линией здесь и на следующих рисунках изображается график для напряжений σ_{11}^a со стороны гребня, а штриховой линией – для напряжений σ_{11}^b с противоположной стороны.

Аналогичные зависимости для случая приложения радиальной нагрузки вблизи гребня приведены на рис. 3. Как видно из результатов расчета, всплески напряжений в диске имеют место вблизи галтели у ступицы и вблизи галтели (или в самой галтели) пере-

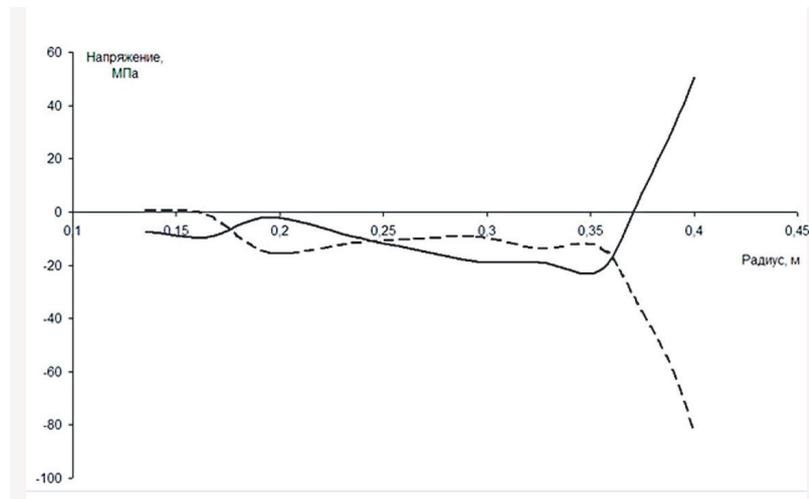


Рис. 2. Изменение напряжений в диске «нового» колеса грузового вагона при действии радиальной нагрузки вдали от гребня

хода от диска к ободу. Кроме того, заметно влияние изгибной составляющей напряжений, которая в крайних точках приложения реакции становится определяющей.

При перемещении точки приложения силы между правым и левым крайними положениями из-за влияния вагона напряжения изменяются в пределах:

- σ_{11}^H вблизи ступицы: от 99,47 до 44,10 МПа;
- σ_{11}^B вблизи ступицы: от -108,19 до -49,88 МПа;
- σ_{11}^H вблизи обода: от 51,84 до -61,25 МПа;
- σ_{11}^B вблизи обода: от -83,79 до 29,11 МПа.

Эти результаты показывают, что влияние вагона весьма сильно сказывается на напряженно-деформированном состоянии колеса, причем напряжения меняют знак.

Зависимости, полученные для случая одновременного действия вертикальной и горизонтальной составляющих реакции на гребень, изображены на рис. 4. Максимальные значения напряжений вблизи ступицы ($R=23,5$ см; $\beta=0$) составляют:

- $\sigma_{11}^H = -152,29$ МПа;
- $\sigma_{11}^B = 145,92$ МПа.

Максимальные значения напряжений вблизи обода:

- $\sigma_{11}^H = -173,46$ МПа;
- $\sigma_{11}^B = 141,32$ МПа.

Здесь представляет интерес изменение поля напряжений при влиянии вагона. На рис. 5 и 6 приведены поля напряжений σ_{11}^H и σ_{11}^B .

Сплошная, штриховая и штрихпунктирная линии соответствуют приложению реакции вдали от гребня, в середине и вблизи гребня соответственно. Штриховая линия соответствует дополнительному действию на гребень горизонтальной реакции рельса.

Для колеса грузового вагона с максимально изношенным ободом при перемещении точки приложения реакции рельса из крайнего правого в крайнее левое положение, напряжения в диске изменяются в пределах:

- σ_{11}^H вблизи ступицы: от 96,63 до 45,96 МПа;
- σ_{11}^B вблизи ступицы: от -111,43 до -55,76 МПа;
- σ_{11}^H вблизи обода: от 52,23 до -61,35 МПа;
- σ_{11}^B вблизи обода: от -83,69 до 28,71 МПа.

Сравнение результатов расчетов вариантов колес с новым и изношенным ободом колеса грузового вагона показывает, что износ обода не оказывает значительного влияния на уровень максимальных напряжений. Это обосновывается тем, что при износе обода колеса грузового вагона эффект понижения жесткости обода колеса компенсируется изменением положения его центра тяжести и становится более «благоприятным» с точки зрения возникающих в диске колеса грузового вагона изгибающих моментов.



Литература

1. Бате, К.-Ю. Численные методы анализа и метод конечных элементов / К.-Ю. Бате, Е. Вилсон. Перевод с англ. А. С. Алексеева и др. — Москва: Стройиздат, 1982. — 447 с. — Текст : непосредственный.
2. Филин, А.П. Элементы теории оболочек / А.П.Филин .-3-е изд., перераб. и доп. — Ленинград: Стройиздат, Ленинградское отделение, 1987. — 384 с. — Текст: непосредственный .
3. Лойцянский, Л.Г. Курс теоретической механики: в 2 т. Т.2. Динамика: учебное пособие для студентов вузов, обучающихся по специальности 010500 «Механика» / Л.Г. Лойцянский, А.И. Лурье. — Изд. 7-е, испр. и доп. — Москва: Дрофа, 2006. — 719 с. — (Классики отечественной науки. Естественные, технические, гуманитарные науки). — ISBN 5-358-01277-X . — Текст: непосредственный.
4. Некоторые вопросы развития вагоноремонтных предприятий. — Текст: непосредственный / О.И. Мироненко, К.А. Сергеев, О.Ю. Кривич, А.А. Петров, М.В. Козлов // Транспортное дело России. — 2019. — №3. — С.158–160.

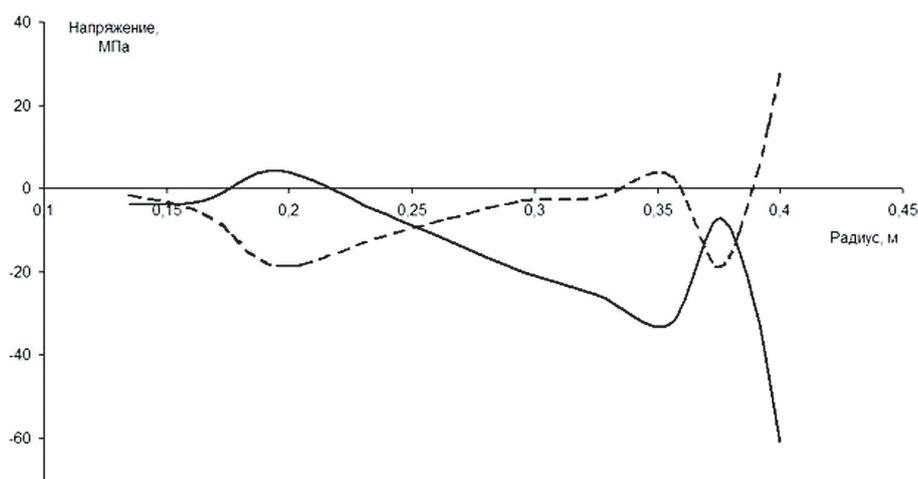


Рис. 3. Изменение напряжений в диске «нового» колеса грузового вагона при действии радиальной нагрузки вблизи гребня

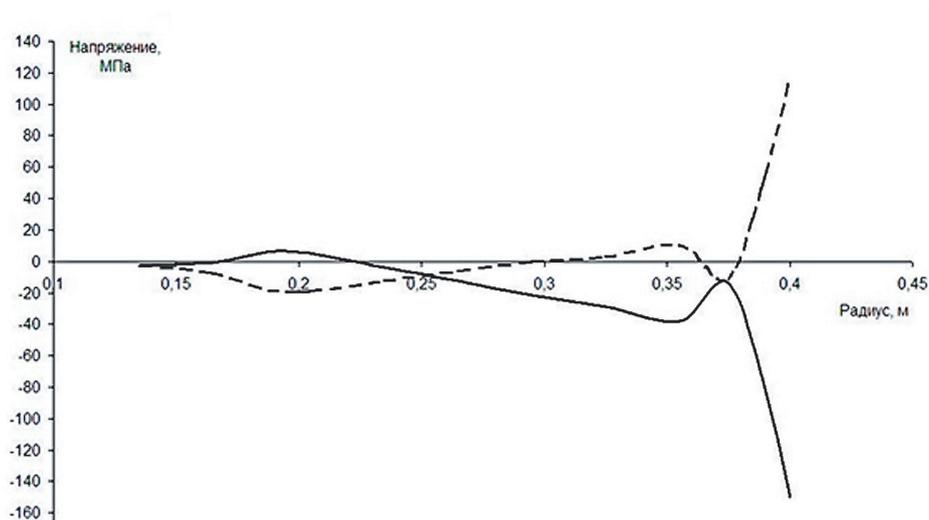


Рис. 4. Изменение напряжений в диске «нового» колеса грузового вагона при действии радиальной и осевой нагрузки у гребня

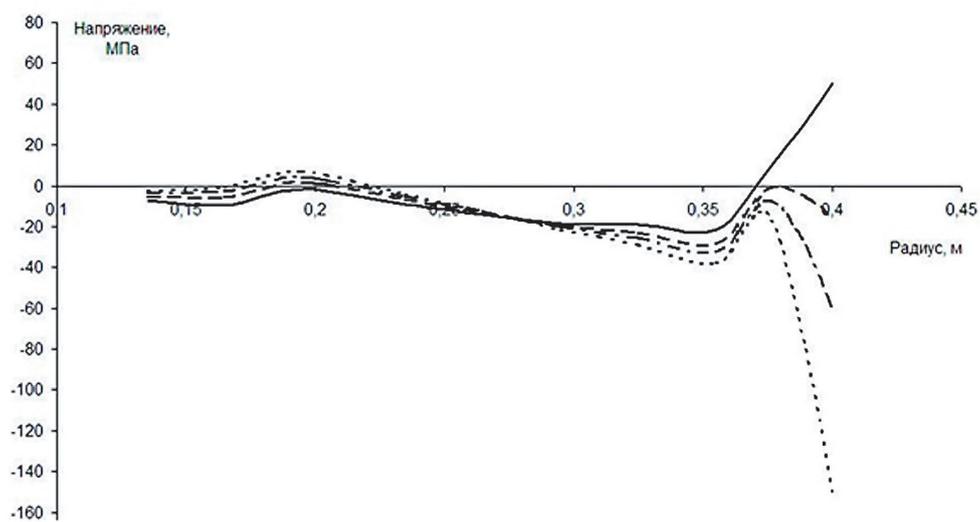


Рис. 5. Изменение напряжений на наружной поверхности диска «нового» колеса при влиятии грузового вагона

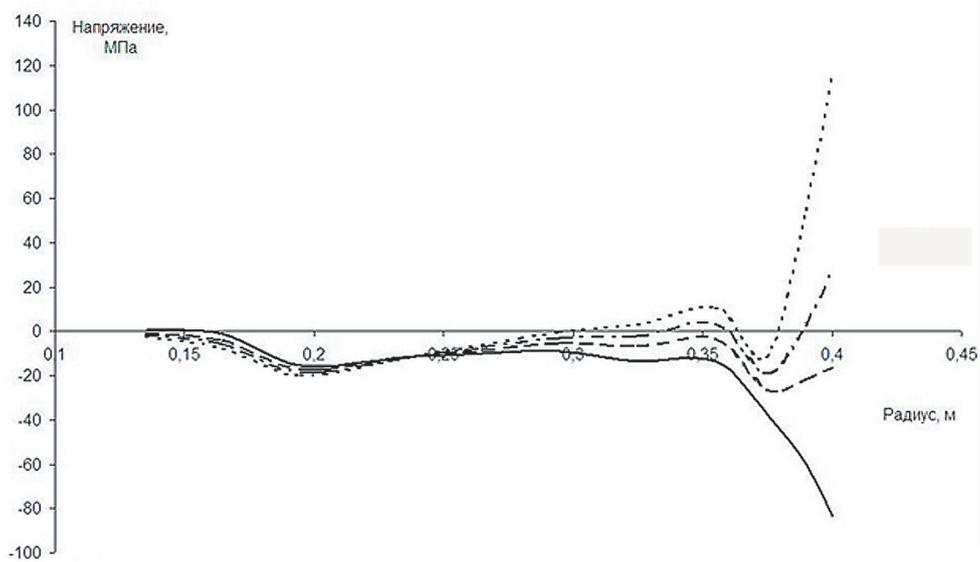


Рис. 6. Изменение напряжений на внутренней поверхности диска «нового» колеса при влиятии грузового вагона