

## Список литературы

- 1 **Беспалько, С. В.** Исследование соударений вагонов, оборудованных эластомерными поглощающими аппаратами, с использованием компьютерного моделирования / С. В. Беспалько, С. С. Андриянов. – 2004. – № 5. – С. 7–8.
- 2 **Журавков, М. А.** Об использовании системы Mathematica при преподавании дисциплин и изучении разделов по основам компьютерного моделирования в механике / М. А. Журавков, В. Б. Таранчук // Вестник БелГУТа: Наука и транспорт. – 2016. – № 1 (32). – С. 59–62.
- 3 **Карпухина, С. В.** Персонализированное обучение алгебре и началам математического анализа с использованием компьютерной системы "Mathematica": дис. ... канд. пед. наук : 13.00.02. «Теория и методика обучения и воспитания (по областям и уровням образования)» / С. В. Карпухина. – Рязань, 2009. – 243 с.
- 4 **Кристалинский, В. Р.** Об использовании системы Wolfram Mathematica в статистическом анализе данных / В. Р. Кристалинский, Р. Е. Кристалинский // Дистанционные образовательные технологии : материалы IV Всерос. науч.-практ. конф. (с международным участием), посвящ. 75-летию ГПА, Ялта, 16–21 сентября 2019 года / отв. редактор В. Н. Таран. – Ялта : Издательство Типография «Ариал», 2019. – С. 58–61.

УДК 629.421.4

## ОЦЕНКА ОСТАТОЧНЫХ НАПРЯЖЕНИЙ В КОЛЕСЕ ТЕПЛОВОЗА ЧМЭЗ ПОСЛЕ ТЕПЛОВОЙ ПОСАДКИ БАНДАЖА НА КОЛЕСНЫЙ ЦЕНТР

*А. В. ПУТЯТО, И. Л. КОЦУР*

*Гомельский государственный технический университет им. П. О. Сухого, Республика Беларусь*

Основными маневровыми тепловозами на Белорусской железной дороге являются тепловозы серии ЧМЭЗ, ЧМЭЗ<sup>T</sup> и серии ТМЭ1, ТМЭ2. Указанные тепловозы имеют трехосные бесчелюстные тележки с одноповодковым буксовым узлом с двухрядным сферическим подшипником качения [1]. К одним из серьезных недостатков тепловозов указанных серий, с которыми приходится сталкиваться в эксплуатации, относятся неисправности колесных пар. Так, имеют место случаи возникновения трещин бандажей колесных пар, а также при проведении полного и обыкновенного освидетельствования выявляют значительное количество трещин в колесных центрах (рисунок 1).



Рисунок 1 – Разрушение бандажа и колесного центра колеса

Колесная пара является одним из наиболее ответственных узлов железнодорожного подвижного состава. Обеспечение требуемой прочности соединений с гарантированным натягом деталей колесной пары напрямую связана с безопасностью движения. Соединения с натягом элементов колесной пары подвергаются воздействию комплекса силовых факторов и могут работать на осевой сдвиг, проворачивание или испытывать комбинированную нагрузку. Недостаточная прочность соединений может привести к относительному сдвигу элементов и вызвать катастрофические последствия. В то же время в процессе соответствующих технологических операций при формировании колесной пары, в том числе при посадке бандажа на колесный центр, в металлоконструкции составного колеса формируется достаточно сложная картина остаточных напряжений.

Целью настоящей работы является численная оценка уровня остаточных напряжений в колесном центре и бандаже колеса маневрового тепловоза ЧМЭЗ после их соединения с натягом термическим способом.

Компьютерное моделирование выполнено методом конечных элементов в программном комплексе ANSYS [2]. Материал колесного центра в соответствии с ГОСТ 4491–2016 – сталь 20Л с временным сопротивлением 440 МПа. В соответствии с ГОСТ 398–2010 бандаж изготовлен из стали марки 2 с временным сопротивлением 1100 МПа. Для учета пластических деформаций в зоне посадки модель материала принята билинейная упруго-пластическая с кинематическим упрочнением. Поверхности сопряжения смоделированы контактными элементами.

Компьютерная модель реализует полный процесс посадки с натягом бандажа на колесный центр тепловым способом, включающим три этапа. В начальном положении колесный центр и бандаж смещены относительно друг друга в осевом направлении. На первом этапе выполняется нагрев бандажа с 18 до 300 °С, а колесный центр находится в начальном положении. Далее, на втором этапе, бандаж сохраняет деформированное состояние с температурой нагрева 300 °С, а колесный центр перемещается в осевом направлении до упорного бурта бандажа. На третьем этапе моделируется остывание бандажа и формирование соединения с натягом. Колесный центр в это время остается в конечном положении второго этапа.

На рисунке 2 приведены картины распределения эквивалентных напряжений в бандаже и колесном центре при реализации натяга в соединении равного 1,1 мм. Видно, что значения напряжений в бандаже возрастают по мере удаления от круга катания и приближения к поверхности сопряжения с колесным центром, максимальные значения получены более 200 МПа, что в целом соответствует экспериментальным результатам, приведенным в работе [3].

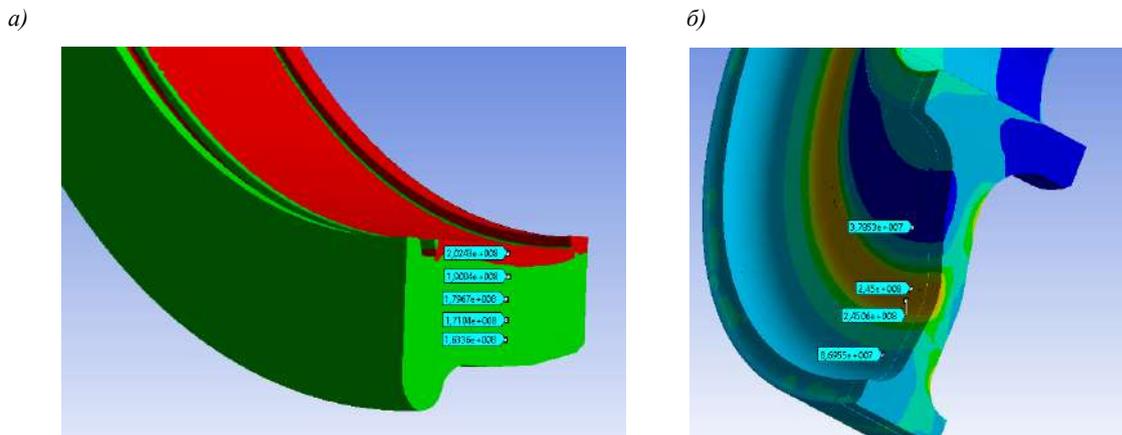


Рисунок 2 – Распределение эквивалентных напряжений (в Паскалях): в бандаже (а) и колесной центре (б) после их сборки

Отметим, что в настоящей работе приведены результаты расчетов при геометрических размерах, соответствующих новым элементам колеса, а также для минимально необходимого значения натяга в соединении. В то же время учет эксплуатационных износов, допусков в отклонениях геометрических размеров сопрягаемых поверхностей, дополнительный учет напряжений от иных технологических операций (посадка колесного центра на ось, обточка поверхности катания и т. п.) могут привести к существенному изменению картины напряженного состояния. Полученный результат в конечном итоге следует рассматривать в совокупности с напряженным состоянием, которое возникает от действия силовых факторов, воспринимаемых колесной парой и, колесом в эксплуатации (вес локомотива, силы взаимодействия с рельсовой колеей).

#### Список литературы

- 1 Нотик, З. Х. Тепловозы ЧМЭЗ, ЧМЭЗ<sup>Т</sup>, ЧМЭЗ<sup>Э</sup>: Пособие машинисту / З. Х. Нотик. – 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Транспорт, 1996. – 444 с.
- 2 Каплун, А. Б. ANSYS в руках инженера. Практическое руководство / А. Б. Каплун, Е. М. Морозов, М. А. Олферьева. – М. : Едиториал УРСС, 2003. – 272 с.
- 3 Муравьев, В. В. Ультразвуковой контроль остаточных напряжений в бандажах локомотивных колес при производстве / В. В. Муравьев, Л. В. Волкова, М. А. Лапченко // Дефектоскопия. – 2015. – № 5. – С. 3–16.