

**ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО
СОСТОЯНИЯ ТЕЛЕЖКИ НИЗКОПОЛЬНОГО ТРАМВАЯ**

**ASSESSMENT OF STRESS-STRAIN STATE OF A LOW-FLOOR
STREETCAR BOGIE**

**Мендель В.А.¹, Шукюров А.О.¹, Кисельков А.Л.¹,
Омелиусик А.В.¹, канд. техн. наук, Половинкин С.В.²,**

¹Объединенный институт машиностроения НАН Беларуси,
г. Минск, Республика Беларусь

²ОАО «УКХ «Белкоммунмаш», г. Минск, Беларусь

V. Mendel¹, A. Shukiurov¹, A. Kiselkov¹,

A. Omeliusik¹, Ph. D. in Eng., S. Polovinkin²,

¹The Joint Institute of Mechanical Engineering of the National Academy
of Sciences of Belarus, Minsk, Belarus

²ОАО «УКХ «Belkommunmash», Minsk, Belarus

Проведена расчетная оценка прочности трамвайной тележки согласно ГОСТ 34809-2021. Моделирование и расчет прочности выполнены в программном комплексе ANSYS Workbench.

Estimation of streetcar bogie strength according to GOST 34809-2021. Modeling and strength calculation are carried out in ANSYS Workbench software package.

Ключевые слова: компьютерное моделирование, виртуальные испытания, метод конечных элементов, прочностной расчет, напряженно-деформированное состояние, трамвай, тележка трамвая, ANSYS.

Keywords: computer modeling, virtual tests, finite element method, strength calculation, stress-strain state, streetcar, streetcar bogie, ANSYS.

ВВЕДЕНИЕ

Обеспечение требуемых показателей прочности несущих конструкций трамвайной тележки достигается рядом конструктивных решений и обоснованным выбором материалов. Оценка требуемых

показателей прочности производится по результатам расчета НДС конструкции

[1–4] при заданных режимах нагружения. Нормативным документом, содержащим перечень базовых требований к режимам нагружения и прочности конструкций трамваев, является ГОСТ 34809-2021 «Легкорельсовые транспортные средства. Общие технические требования. Методы проверки» [5].

Расчет показателей напряженно-деформированного состояния конструкций выполняется методом конечных элементов с использованием программного комплекса ANSYS [6–8].

ОЦЕНКА НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ ТЕЛЕЖКИ НИЗКОПОЛЬНОГО ТРАМВАЯ

Объект исследования – основные силовые конструкции трамвайной тележки низкопольного трамвая.

На рис. 1 представлена 3D-модель тележки, включающая две торные балки 1, две продольные балки 2 и шкворневую балку 3.

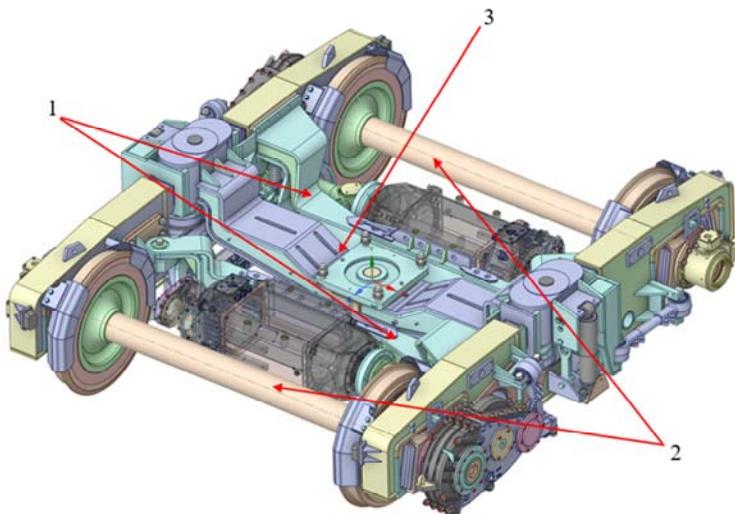


Рисунок 1 – 3D-модель тележки трамвайного вагона

Так как основные несущие элементы тележки изготавливаются из металлопроката, имеющего постоянную толщину, то в расчетах

целесообразно 3D-модель преобразовать в оболочечную и использовать конечные элементы типа оболочка (shell).

На рисунках 2 и 3 представлены преобразованная 3D-оболочечная модель и созданная на ее основе расчетная конечно элементная (КЭ) модель трамвайной тележки.

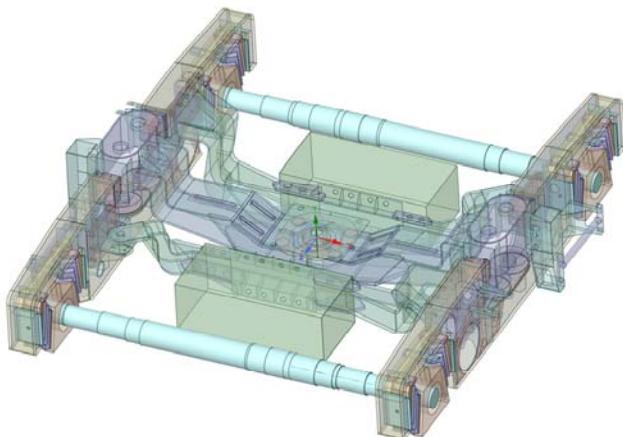


Рисунок 2 – Оболочечная модель трамвайной тележки

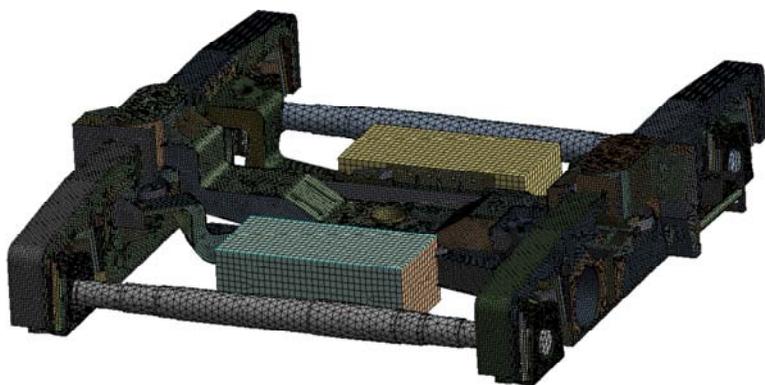


Рисунок 3 – Расчетная КЭ модель трамвайной тележки

По требованиям ГОСТ 34809-2021 при расчете тележки должны быть учтены следующие нагрузки и факторы:

- собственная сила тяжести (вес) конструкции и сила тяжести (вес) пассажиров (полезная нагрузка);
- инерционные динамические силы, вызванные колебаниями трамвая при движении;
- динамические силы, возникающие при движении трамвая по кривым участкам пути;
- силы аэродинамического давления (давление ветра);
- силы взаимодействия трамвая при работе по системе многих единиц и буксировке;
- силы тяги и торможения и вызванные ими пробольные силы инерции;
- силы от работы механизма тягового привода;
- силы от действия тормозных систем;
- силы от действия навесного оборудования;
- силы от работы механизмов, установленных на трамвай;
- силы, прикладываемые к элементам трамвая при ремонте.

Значения сил рассчитываются исходя из полной массы, скорости движения, боковое ускорения, силы тяги и жесткости подвески трамвая.

В соответствии с требованием ГОСТ 34809-2021 конструкции тележки рассчитывают на наиболее невыгодное возможное сочетание одновременно действующих нормативных сил [5, 9].

Общий вид расчетной схемы нагружения трамвайной тележки для этого случая показан на рис. 4. В зонах букс ограничены вертикальные и поперечные перемещения, в шкворневой балке в зоне подшипника ограничены продольные перемещения.

На рис. 5 и 6 представлен общий вид распределения растягивающих напряжений в конструкции моторных балок трамвайной тележки, МПа

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенный расчет позволил выявить наиболее нагруженные зоны конструкций:

- для шкворневой балки – центральная часть 1;
- для продольных балок: нижняя полка, в средней части, в зоне отверстия для размещения карданного вала двигателя и на радиусе скругления, в зоне крепления букс 2.

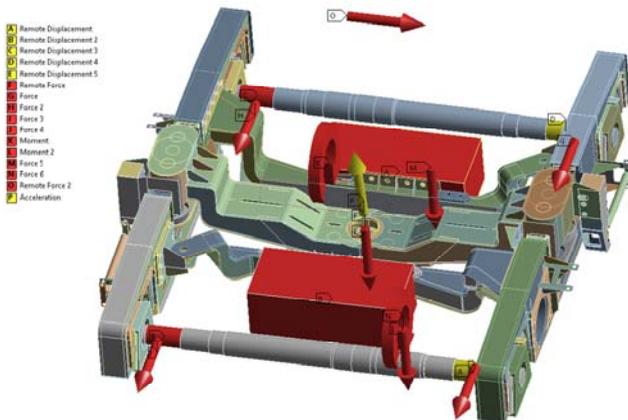


Рисунок 4 – Схема нагружения и закрепления трамвайной тележки

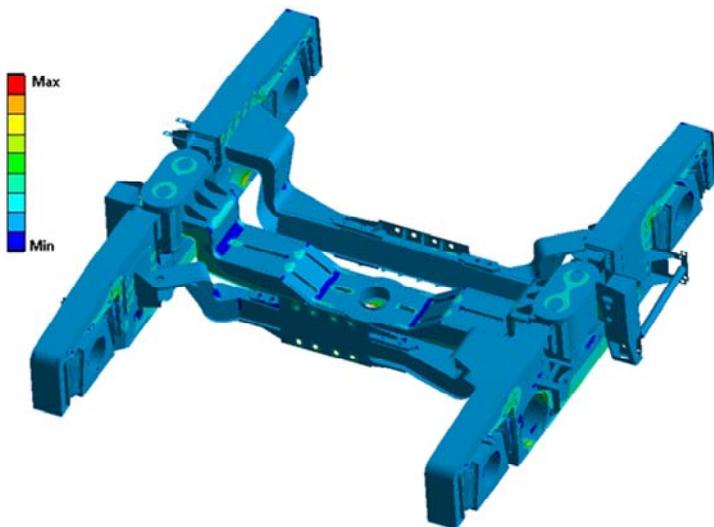


Рисунок 5 – Распределение растягивающих напряжений в трамвайной тележке (вид сверху)

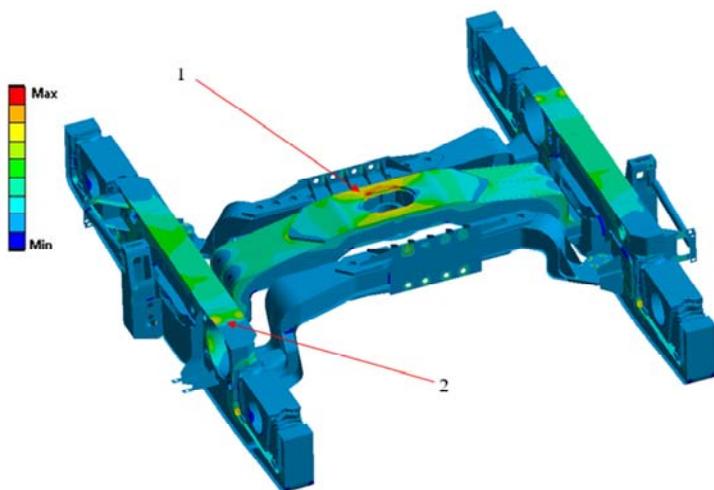


Рисунок 6 – Распределение растягивающих напряжений в трамвайной тележке (вид снизу):

- 1 – зона максимальных напряжений на шкворневой балке,
- 2 – зона максимальных напряжений на продольной балке

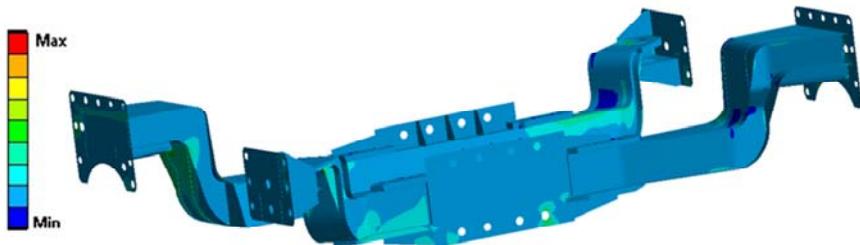


Рисунок 7 – Распределение растягивающих напряжений

В моторных балках тележки при рассматриваемом режиме нагружения высокие напряжения не возникают.

Повышение прочности шкворневой балки возможно путем увеличения момента сопротивления изгиба за счет повышения, как толщины применяемого листового материала, так и габаритных размеров сечения, в частности высоты.

ЛИТЕРАТУРА

1. Gutiérrez, J. The European High-Speed Train Network: Predicted Effects on Accessibility Patterns / J. Gutiérrez, R. González, G. G. Gómez // *Journal of Transport Geography*. Vol. 4. – No. 4. – December 1996, – P. 227–238.
2. Xia, F. The Dynamic Wheel-Rail Contact Stresses for Wagon on Various Tracks / F. Xia, C. Cole, P. Wolfs // *Wear*. Vol. 265. – No. 9–10. – October 2008. – P. 1549–1555.
3. Ramji, K. Dynamic Behaviour of Railway Coach and Bogie Frame using Finite Element Analysis / K. Ramji, V. K. Goel, S. A. S. O. Rao, M. K. Naidu // *Journal of Institution of Engineers (India)*. Vol. 87. – January 2007. – P. 7–17.
4. Yoshimura, A. Study on Numerical Simulation Methods of the Railway Vehicle Track Dynamic Interaction / A. Yoshimura, M. Miwa, Y. Kawasaki // *Proceedings in Applied Mathematics and Mechanics* / Vol. 8. – No. 1. – 2008. – P. 10833–10834.
5. ГОСТ 34809–2021. Легкорельсовые транспортные средства. Общие технические требования. Методы проверки. – М. : Российский институт стандартизации, 2022. – 50 с.
6. Басов, К. А. ANSYS: справочник пользователя / К. А. Басов. – М. : ДМК Пресс, 2005. – 640 с.
7. Heylen, W. Modal Analysis Theory and Testing / W. Heylen, S. Lammens. – Leuven, Belgium: KUL Press, 1997. – 319 p.
8. ANSYS Mechanical APDL Modeling and Meshing Guide, 2013. – 238 p.
9. Bharadwaj, C. K. V. B. D. Stress Analysis of Bogie Frame Structure : [сайт]. – Режим доступа: <https://www.divaportal.org/smash/get/diva2:1194122/FULLTEXT03.pdf>. – Дата доступа: 18.04.2024.

Представлено 01.08.2024