

УДК (UDC) 629.35

МОДЕЛИРОВАНИЕ НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОГО СОСТОЯНИЯ
СЕДЕЛЬНО-СЦЕПНОГО УСТРОЙСТВА ПРИЦЕПАTHE STRESS-STRAIN STATE OF THE TRAILER
SEAT-COUPLING DEVICE SIMULATIONШалупина П.И., Рагулина Ю.В.
Shalupina P.I., Ragulina Yu.V.АО «Брянский автомобильный завод» (Брянск, Россия)
Bryansk Automobile Plant JSC (Bryansk, Russian Federation)

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы моделирования напряженно-деформированного состояния седельно-сцепного устройства, предназначенного для буксирования тяжелого полуприцепа, на котором размещено оборудование базовой станции мобильного транспортно-перезгрузочного канатного комплекса. Определены основные расчетные нагрузки. Построены геометрические и расчетные конечноэлементные модели, учитывающие особенности металлической конструкции. Применена методика склейки элементов сеточной модели. На основе выполненных расчетов сделаны выводы о соответствии разработанной конструкции требованиям прочности.

Ключевые слова: колесное шасси, седельно-сцепное устройство, напряженно-деформированное состояние.

Дата принятия к публикации: 22.08.2021
Дата публикации: 25.09.2021

Сведения об авторах:

Шалупина Павел Игоревич – начальник конструкторского бюро расчетов и надежности АО «Брянский автомобильный завод», e-mail: p.shalupina@gmail.com.

Рагулина Юлия Валерьевна – главный специалист конструкторского бюро расчетов и надежности АО «Брянский автомобильный завод», alekseeva.iulija2014@yandex.ru.

Abstract. The article deals with the issues of modeling the stress-strain state of a traction device designed for towing a heavy semi-trailer, on which the equipment of the base station of a mobile transport and reloading rope complex is placed. The main design loads are defined. Geometric and computational finite element models are constructed, taking into account the features of the metal structure. The method of gluing elements of the grid model is applied. On the basis of the performed calculations, conclusions are drawn about the compliance of the developed structure with the requirements of strength.

Keywords: wheel chassis, seat-coupling device, stress-strain state.

Date of acceptance for publication: 22.08.2021
Date of publication: 25.09.2021

Authors' information:

Pavel I. Shalupina – Chief specialist of the Design Bureau of Calculations and Reliability, Bryansk Automobile Plant JSC, e-mail: p.shalupina@gmail.com.

Iulia V. Ragulina – Main of the Design Bureau of Calculations and Reliability, Bryansk Automobile Plant JSC, alekseeva.iulija2014@yandex.ru.

Благодарности

Исследование выполнено при финансовой поддержке гранта Президента РФ для государственной поддержки молодых российских ученых-докторов наук №МД-422.2020.8

Acknowledgements

The study was supported by Presidential Grant for Governmental Support to Young Russian Scientists No. №MD-422.2020.8

1. Введение

Мобильные транспортно-перезгрузочные канатные комплексы предназначены для перевозки грузов и пассажиров в труднодоступ-

ной местности и в сложных оперативных условиях. Оборудование канатного комплекса устанавливается на мобильных шасси различной конструкции (на колесных или гусеничных шасси) [1-8].

Предложены варианты компоновки основного оборудования мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов на колесных базовых шасси (грузовых автомобилях, специальных колесных шасси). Один из вариантов предполагает использование полуприцепа, который буксируется балластным тягачом посредством сидельно-сцепного устройства [4, 5].

В работе рассмотрен расчет напряженно-деформированного состояния сидельно-сцепного устройства, на основе результатов которого сделан вывод о соответствии конструкции условиям прочности.

2. Конструкция сидельно-сцепного устройства

Основным несущим элементом сидельно-сцепного устройства является стойка, размещенная на раме тягача (рис. 1).

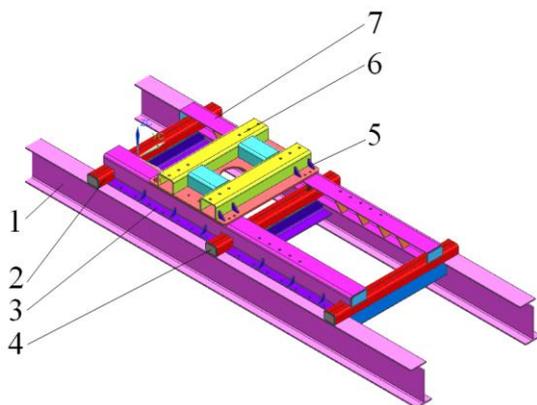


Рис. 1. Конструкция стойки сидельно-сцепного устройства: 1 – лонжерон рамы тягача; 2 – опорная балка; 3 – пластина упорная; 4 – заглушка балки; 5 – ребро опоры; 6 – подставка седельного устройства; 7 – опорный швеллер

При проектировании сидельно-сцепного устройства для буксировки полуприцепа построена идеализированная геометрическая твердотельная модель (рис. 2). Для этого согласно известным методикам [10, 11] использовалась программа геометрического моделирования (CAD-система). Из модели были удалены все мало значимые для прочностного расчета детали [12, 13].

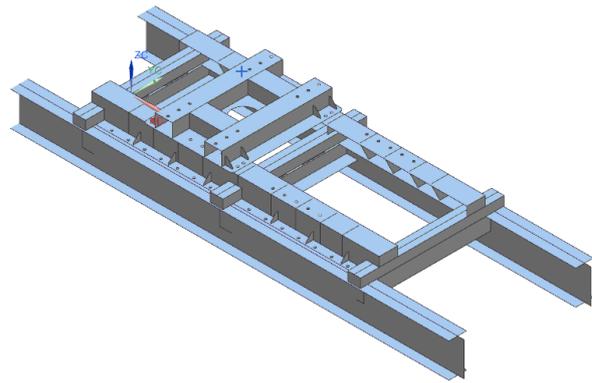


Рис. 2. Идеализированная геометрическая твердотельная модель

3. Определение расчетной нагрузки, действующей на сидельно-сцепное устройство

Оценка прочности конструкции проводится в два этапа:

- на первом этапе аналитически определяется сила тяги балластного тягача;
- на втором этапе при помощи метода конечных элементов [12-14] проводится оценка напряженно-деформированного состояния конструкции и делаются выводы о соответствии требованиям прочности.

Расчетная схема тягового расчета приведена на рис. 3.



Рис. 3. Расчетная схема к тяговому расчету

Касательная сила тяги вычисляется по следующей зависимости [15]:

$$P_T = \frac{M_{кр} \cdot i_0 \cdot \eta_{mp}}{\lambda \cdot r_0},$$

где $M_{кр}$ – максимальный крутящий момент двигателя, Н·м; i_0 – общее передаточное число от выходного вала двигателя к ведущим колёсам (на первой передаче); η_{mp} – коэффициент полезного действия трансмиссии; λ – коэффициент деформации шины; r_0 – радиус шины в свободном состоянии, м.

Статическая нагрузка в любой из сцепок многозвеньевого автопоезда определяется по следующей зависимости :

$$P_{крp} = 2 \left\{ \sum_{i=0}^{i=p} P_n - \sum P \frac{\sum_{i=0}^{i=p} M_n}{\sum M} \right\},$$

где $\sum_{i=0}^{i=p} P_n$ – сумма тяговых (тормозных) сил, действующих на предшествующие рассматриваемой сцепки звенья автопоезда; $\sum P$ – сумма тяговых (тормозных) сил, действующих на весь автопоезд; $\sum_{i=0}^{i=p} M_n$ – сумма масс звеньев автопоезда, предшествующие рассматриваемой сцепке; $\sum M$ – масса всего автопоезда, p – порядковый номер рассматриваемой сцепки, считая от тягача.

В расчетах приняты следующие параметры исследуемого автопоезда: $M_{кр} = 1760$ Н·м; $i_0 = 135$; $\eta_{mp} = 0,7$; $\lambda = 0,94$; $r_0 = 0,64$ м.

Таким образом, в автопоезде действуют следующие усилия: $P_T = 320$ кН, $P_{кр1} = 266$ кН, $P_{кр2} = 225$ кН. Эти нагрузки были приложены к расчетной конечноэлементной модели объекта исследования.

4. Расчетная модель для исследования напряженно-деформированного состояния сидельно-сцепного устройства

Расчетная конечноэлементная модель сидельно-сцепного устройства построена с помощью плоских конечных элементов типа «оболочка». Для передачи усилий между частями конструкции применяются абсолютно жесткие элементы RBE2. Соединение стойки опорного устройства и рамы тягача, подставки сидельного устройства и стойки опорного устройства осуществляется при помощи одномерных элементов, имитирующих болтовое соединение.

Средний размер плоских конечных элементов в модели составляет 15 мм. Общее количество элементов в детали – 85509, узлов – 87888.

Расчетная схема для оценки напряженно-деформированного состояния конструкции представлена на рис. 4.

5. Результаты расчета напряженно-деформированного состояния тягово-сцепного устройства

На рис. 5 показаны результаты расчета исследуемой конструкции. Наиболее нагруженными элементами в листовых телах являются ребра опоры.

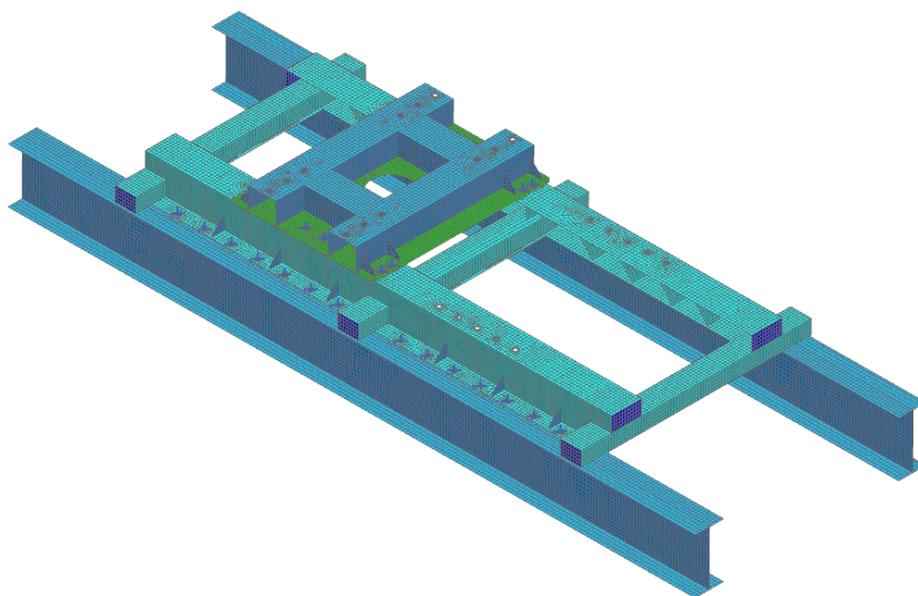


Рис. 4. Конечноэлементная модель сидельно-сцепного устройства

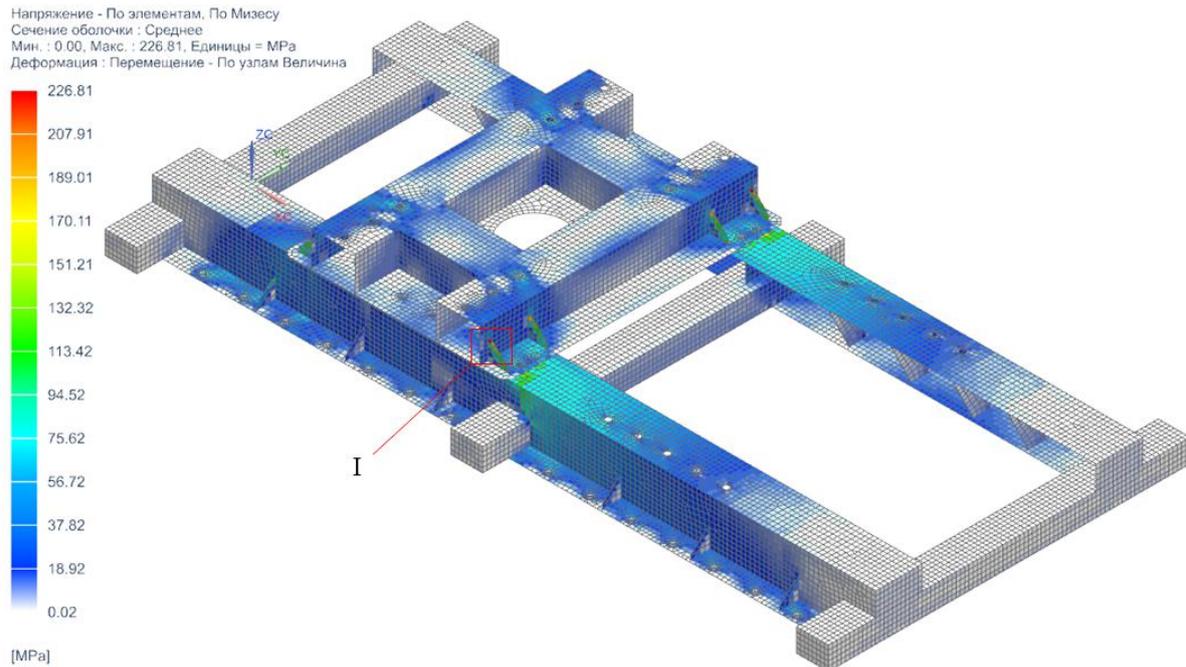


Рис. 5. Результаты расчета седельно-сцепного устройства – напряжения по Мезису (МПа)

По результатам расчета максимальные разрывные усилия в болтах составили 38 кН. Максимальное напряжение в элементах крепления подставки седельного устройства тягача к стойке опорного устройства составляет 636 МПа.

Исходя из результатов расчета, болты класса прочности 8.8 не удовлетворяют условию прочности, так как коэффициент запаса прочности по пределу текучести меньше 1,2. Необходимо использовать болты с классом прочности 10.9.

Список литературы

1. Пат. 2465423 Рос. Федерация: МПК7 E04H 3/14. Стадион / Короткий А.А., Приходько В.М. Кустарев Г.В. и др.; заявитель и патентообладатель ООО «Инженерно-консультационный центр «Мысль» НГТУ. № 2011112660/03; заявл. 01.04.2011; опубл. 27.10.2012, Бюл. 30.

2. Пат. 2337023 Рос. Федерация: МПК7 B61B 7/00. Мобильная подвесная канатная дорога / Короткий А.А., Хальфин М.Н., Маслов В.Б. и др.; заявитель и патентообладатель ООО «Инженерно-консультационный центр «Мысль» НГТУ. № 2007102705/11; заявл. 24.01.2007; опубл. 27.10.2008, Бюл. 30.

3. Лагереv И.А., Таричко В.И., Солдат-

6. Основные выводы и рекомендации

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы.

1. Минимальный коэффициент запаса прочности по пределу текучести составляет 1,37, что удовлетворяет требованиям.

2. Прочность болтового соединения между стойкой опорного устройства и подставкой седельного устройства обеспечивается при использовании болтов класса прочности 10.9 (M20).

References

1. Patent RU 2337023, B61B 7/00. Mobilnaya podvesnaya kanatnaya doroga [Mobile ropeway]. Korotkiy A.A., Khalphin M.N., Maslov V.B. Published 27.10.2008. (In Russian)

2. Patent RU 2465423, E04H 3/14. Stadion [Stadium]. Korotkiy A.A., Prihodko V.M., Kustarev G.V. Published 27.10.2012. (In Russian)

3. Lagerev I.A., Tarichko V.I., Soldatchenkov S.P., Ignatov D.A. The experimental model creation of a mobile ropeway by 3D-printing. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2019, No.2, pp. 221-230. DOI: 10.22281/2413-9920-2019-05-02-221-230 (In Russian)

4. Korotkiy A.A., Lagerev A.V., Meskhi

ченков С.П., Игнатов Д.А. Создание экспериментального макета мобильной канатной дороги с использованием 3D-печати // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2019. №2. С. 221-230. DOI: 10.22281/2413-9920-2019-05-02-221-230

4. Короткий А.А., Лагереv А.В., Месхи Б.Ч., Лагереv И.А., Панфилов А.В., Таричко В.И. Транспортно-логистические технологии и машины для цифровой урбанизированной среды. Ростов-на-Дону: ДГТУ, 2019. 268 с. DOI: 10.5281/zenodo.3551132

5. Таричко В.И., Химич А.В. Комплексная математическая модель мобильного транспортно-перегрузочного канатного комплекса // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2019. №4. С. 523-532.

6. Таричко В.И., Шалупина П.И. Моделирование нагруженности полуприцепа мобильного транспортно-перегрузочного канатного комплекса // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2021. №1. С. 73-81. DOI: 10.22281/2413-9920-2019-07-01-73-8

7. Лагереv И.А., Таричко В.И., Лагереv А.В. Формирование стратегии восстановления канатной системы мобильного транспортно-перегрузочного канатного комплекса в процессе эксплуатации // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2020. №2. С. 276-293. DOI: 10.22281/2413-9920-2020-06-02-276-293

8. Лагереv А.В., Таричко В.И., Лагереv И.А. Вероятностно-временной анализ кинетики показателей надежности на стадии проектирования канатной системы мобильного транспортно-перегрузочного канатного комплекса // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2020. №2. С. 256-275. DOI: 10.22281/2413-9920-2020-06-02-256-275

9. Киятина И.И., Лагереv И.А. Формирование компетенций в области современных сквозных цифровых технологий у обучающихся по направлению «Реклама и связи с общественностью» // Ученые записки Брянского государственного университета. 2020. №2. С. 11-15.

B.Ch., Lagerev I.A., Panfilov A.V., Tarichko V.I. *Transportno-logisticheskie tehnologii dlya tsifrovoy urbanizirovannoy sredy* [Transport and logistics technologies and machines for the digital urbanized environment]. Rostov-na-Donu, DGTU, 2019. 268 p. DOI: 10.5281/zenodo.3551132 (In Russian)

5. Tarichko V.I., Khimich A.V. Comprehensive model of the mobile transport and overloading rope complex. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2019, No.4, pp. 523-532. (In Russian)

6. Tarichko V.I., Shalupina P.I. Load simulation of a semi-trailer of the mobile transport and overloading rope complex. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2021, No.1, pp. 73-81. DOI: 10.22281/2413-9920-2019-07-01-73-8 (In Russian)

7. Lagerev I.A., Tarichko V.I., Lagerev A.V. Formation of the strategy for restoring the rope system of the mobile transport and reloading rope complex during operation. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2020, No.2, pp. 276-293. DOI: 10.22281/2413-9920-2020-06-02-276-293 (In Russian)

8. Lagerev A.V., Tarichko V.I., Lagerev I.A. Probability-temporal analysis of reliability indicators kinetics at the stage of designing a rope system of a mobile transport and reloading ropeway. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2020, No.2, pp. 256-275. DOI: 10.22281/2413-9920-2020-06-02-256-275 (In Russian)

9. Kiyutina I.I., Lagerev I.A. Formation of competencies in the field of modern end-to-end digital technologies for students in the direction of PR, *Uchenye zapiski Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2020, No.2, pp. 11-15. (In Russian)

10. Lagerev A.V., Milto A.A., Lagerev I.A. Universal technique for stress analysis of beam elements of articulating cranes in case of dynamic load. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2013, No.3, pp. 24-31. DOI: 10.5281/zenodo.1302038 (In Russian)

11. Lagerev I.A., Lagerev A.V. Kinemati-

10. Лагерев А.В., Мильто А.А., Лагерев И.А. Универсальная методика динамического анализа гидравлических кранов-манипуляторов // Вестник Брянского государственного технического университета. 2013. №3. С. 24-31. DOI: 10.5281/zenodo.1302038
11. Лагерев И.А., Лагерев А.В. Динамический анализ трехзвенного гидравлического крана-манипулятора // Вестник Брянского государственного технического университета. 2011. №3. С. 9-16. DOI: 10.5281/zenodo.1301775
12. Вершинский А.В., Лагерев И.А., Шубин А.Н., Лагерев А.В. Численный анализ металлических конструкций подъемно-транспортных машин. Брянск: РИО БГУ, 2014. 186 с. DOI:10.5281/zenodo.1202237
13. Вершинский А.В., Лагерев И.А., Шубин А.Н., Лагерев А.В. Расчет металлических конструкций подъемно-транспортных машин методом конечных элементов. Брянск: РИО БГУ, 2015. 210 с. DOI:10.5281/zenodo.1202240
14. Лагерев И.А. Динамическая нагруженность крана-манипулятора самоходной машины для сварки трубопроводов при движении с грузом // Подъемно-транспортное дело. 2013. №1. С. 4-7.
15. Щукин М.М. Сцепные устройства автомобилей и тягачей / М.М. Щукин // Машиностроение, 1960. 209 с.
- cal and force analysis of a hydraulic trimeric crane-manipulator. *Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 2011, No.3, pp. 9-16. DOI: 10.5281/zenodo.1301775 (In Russian)
12. Vershinckii A.V., Lagerev I.A., Shubin A.N., Lagerev A.V. *Chislennyy analiz metallicheskih konstruksii podemno-transportnykh mashin* [Numerical analysis of metal constructions of lifting-transport machines]. Bryansk, Bryanskiy Gosudarstvennyy Universitet, 2014. 186 p. DOI: 10.5281/zenodo.1202237 (In Russian).
13. Vershinckii A.V., Lagerev I.A., Shubin A.N., Lagerev A.V. *Raschet metallicheskih konstruksii podemno-transportnykh mashin metodom konechnykh elementov* [Calculation of metal structures of lifting and transport machines by the finite element method]. Bryansk, Bryanskiy Gosudarstvennyy Universitet, 2015. 210 p. DOI: 10.5281/zenodo.1202240 (In Russian).
14. Lagerev I.A. Trunk pipeline welding machine crane-manipulator dynamics during freight movement. *Podemno-transportnoe delo*, 2013, No.1, pp. 4-7. (In Russian)
15. Schukin M.M. *Stsepnyye ustroystva avtomobilei i tyagatchei* [Coupling devices of cars and tractors]. *Mashinostroenie*, 1960. 209 p. (In Russian).