

УДК (UDC) 629.35

ОЦЕНКА ПРОЧНОСТИ ЭЛЕМЕНТОВ КРЕПЛЕНИЯ КАБИНЫ
КОЛЕСНОГО ШАССИ ВЫСОКОЙ ГРУЗОПОДЪЕМНОСТИASSESSMENT OF THE STRENGTH OF THE CABIN MOUNTING ELEMENTS
OF THE HIGH-CAPACITY WHEELED CHASSISШалупина П.И.¹, Артемова А.А.²
Shalupina P.I.¹, Artyomova A.A.²¹ – АО «Брянский автомобильный завод» (Брянск, Россия)² – Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского (Брянск, Россия)¹ – Bryansk Automobile Plant JSC (Bryansk, Russian Federation)² – Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University (Bryansk, Russian Federation)

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы моделирования напряженно-деформированного состояния узлов крепления кабины колесного шасси высокой грузоподъемности. Определены основные расчетные нагрузки. Построены геометрические и расчетные конечноэлементные модели, учитывающие особенности металлической конструкции. Применена методика склейки элементов сеточной модели. Учитывается контактное взаимодействие деталей. На основе выполненных расчетов сделаны выводы о соответствии разработанной конструкции требованиям прочности.

Ключевые слова: колесное шасси, кабина, крепление, рама, напряженно-деформированное состояние.

Дата принятия к публикации: 04.10.2021
Дата публикации: 25.12.2021

Сведения об авторах:

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

Артемова Анна Алексеевна – студент ФГБОУ ВО «Брянский государственный университет имени академика И.Г. Петровского»,
e-mail: a.artemova25@yandex.ru.

Abstract. The article deals with the issues of modeling the stress-strain state of the attachment points of the cab of a wheeled chassis of high load capacity. The main design loads are determined. Geometric and computational finite element models are constructed, taking into account the features of the metal structure. The technique of gluing elements of the grid model is applied. The contact interaction of the parts is taken into account. Based on the calculations performed, conclusions are drawn about the compliance of the developed structure with the strength requirements.

Keywords: wheeled chassis, cab, mount, frame, stress-strain state.

Date of acceptance for publication: 04.10.2021
Date of publication: 25.12.2021

Authors' information:

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

Anna A. Artyomova – student, Academician I.G. Petrovskii Bryansk State University,
e-mail: a.artemova25@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-перегрузочные канатные комплексы [1-4] используются для выполнения транспортных операций (перевозки грузов и пассажиров) в труднодоступ-

ной местности, а также в сложных оперативных условиях. Оборудование канатной дороги размещается на колесных шасси высокой грузоподъемности [5, 6].

Одним из важнейших этапов обеспечения надежности и безопасности транспортных машин является оценка их динамической нагруженности и выполнение прочностных расчетов [7-10].

В работе рассмотрен вопрос исследования напряженно-деформированного состояния элементов крепления кабины к раме колесного шасси высокой грузоподъемности, используемого для размещения оборудования мобильного транспортно-перегрузочного канатного комплекса.

2. Конструкция крепления кабины к раме колесного шасси

Элементы крепления кабины устанавливаются на раму шасси. Их расположение на раме показано на рис. 1.

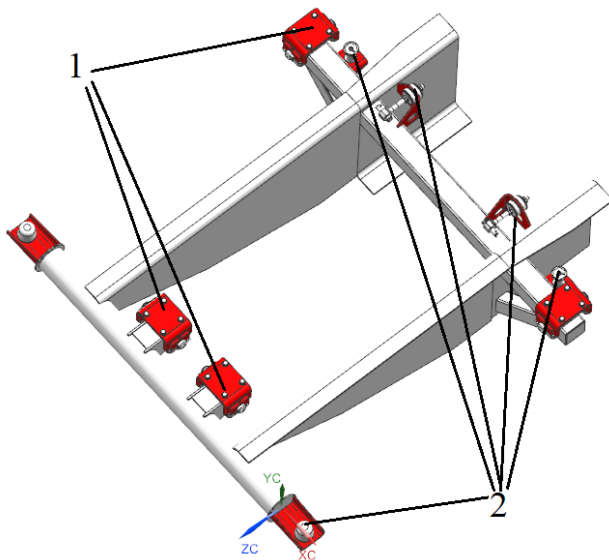


Рис. 1. Конструкция крепления кабины к раме колесного шасси: 1 – основные опоры, 2 – дополнительные опоры (в том числе с реактивными тягами)

В ходе исследования разработана идеализированная геометрическая твердотельная модель объекта (рис. 2). Для этого согласно известным методикам [11-13] использовалась САД-система. Идеализированная модель не учитывает фаски, скругления, галтели и проточки в деталях, поскольку указанные элементы не оказывают существенного влияния на результаты расчета [11, 12].

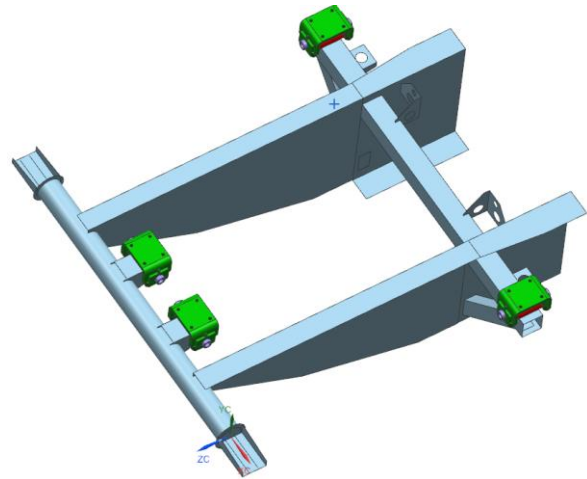


Рис. 2. Идеализированная модель крепления кабины к раме колесного шасси

Крепление кабины должно выдержать нагрузку, которая складывается из веса бронированной кабины, экипажа, оборудования заказчика. Центр масс кабины совпадает с геометрическим центром кабины и расположен на продольной оси симметрии.

3. Определение расчетных нагрузок на элементы крепления кабины к раме колесного шасси

Расчетные нагрузки, действующие на элементы крепления кабины можно вычислить с использованием динамических моделей, построенных с использованием подходов, приведенных в работе [14]. Параметры модели определяются на основе выражений, приведенных в работах [14-17].

Расчетная схема динамической модели показана на рис. 3. Уравнения движения системы выглядят следующим образом.

$$\begin{cases} M\ddot{x} + c_1(x - \xi + \varphi a) + c_2(x - \xi - \varphi b) + \\ + \alpha_1(\dot{x} - \dot{\varphi} a) + \alpha_2(\dot{x} - \dot{\varphi} b) = 9,81M + Q; \\ J\ddot{\varphi} - \alpha_1(\dot{x} - \dot{\varphi} a) - \alpha_2(\dot{x} - \dot{\varphi} b) = 0, \end{cases}$$

где m , J – масса и момент инерции кабины; x , φ – координаты (линейная и угловая); c_1 , c_2 – жесткости элементов крепления; α_1 , α_2 – вязкости элементов крепления; a , b – расстояние по горизонтали от центра тяжести кабины до креплений; ξ – динамическое смещение рамы под кабиной, вычисленное по методике [14]; Q – дополнительные динамические нагрузки.

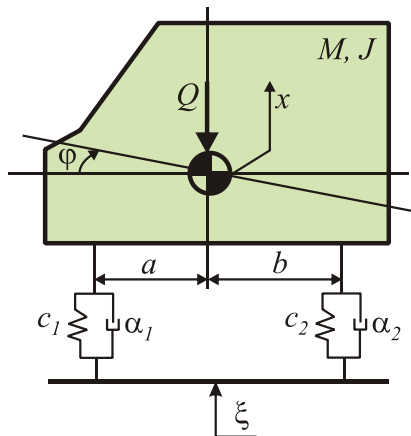


Рис. 3. Расчетная схема креплений кабины

Второй подход к определению расчетных режимов базируется на выборе расчетных режимов движения и соответствующих максимальных инерционных ускорений. Именно такой способ использовался в данном исследовании. Значения инерционных нагрузок приведены в табл. 1, где g – ускорение свободного падения.

Таблица 1
Характеристики режимов нагружения

Режим	Характеристики режима движения		
	Режим движения	Направление действия нагрузки	Величина нагрузки
I	Покой	– Y	1,0g
IIa	Удар о препятствие	+ Y	3,0g
IIб		– Y	
IIIa	Поворот	+ X	1,5g
IIIб		– X	
IVa	Ускорение	– Z	1,5g
IVб	Торможение	+ Z	

В соответствии с общими положениями расчета рассматриваются два варианта распределения нагрузки: только на основные опоры; на все опоры (основные, дополнительные и реактивные тяги).

4. Расчетная модель для исследования напряженно-деформированного состояния тягово-цепного устройства

Тонкостенные тела в идеализированной модели представлены в виде оболочек, геометрия которых в дальнейшем аппроксимируется плоскими трех- и четырех-узловыми

конечными элементами. Геометрия массивных деталей (кронштейнов основных опор, их втулок и труб) аппроксимируется объемными четырех-узловыми конечными элементами тетраэдральной формы. Взаимодействие между различными элементами конструкции обеспечивается применением специальных объектов моделирования типа «склейка» и «сшивка» согласно методике, изложенной в работе [18].

Кабина в модели представлена в виде элемента сосредоточенной массы, расположенном в заданном центре масс кабины. Нагрузка от кабины на кронштейны передается при помощи специальных интерполяционных конечных элементов распределения массовых нагрузок.

Общий вид разработанной конечно-элементной модели представлен на рис. 4. Средний размер конечного элемента в модели составляет 10 мм, общее количество узлов – 54954 шт., элементов – 98908 шт.

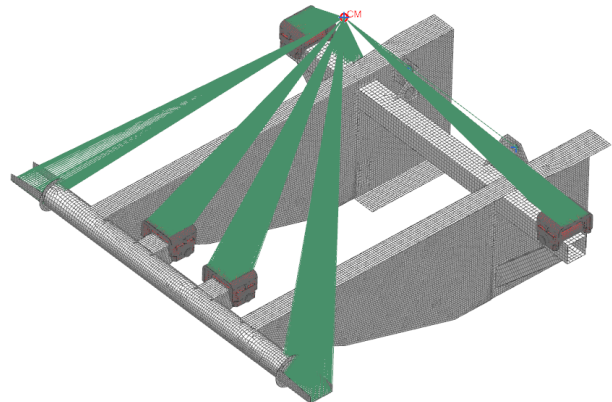


Рис. 4. Конечноэлементная модель кабины

Моделирование напряженно-деформированного состояния рамы базовой станции мобильного транспортно-перегрузочного канатного комплекса выполнено методом конечных элементов [18, 19, 22].

5. Результаты расчета напряженно-деформированного состояния креплений кабины

Результаты расчетов креплений кабины в виде картин эквивалентных напряжений в конструкции представлены на рис. 5 – рис. 18.

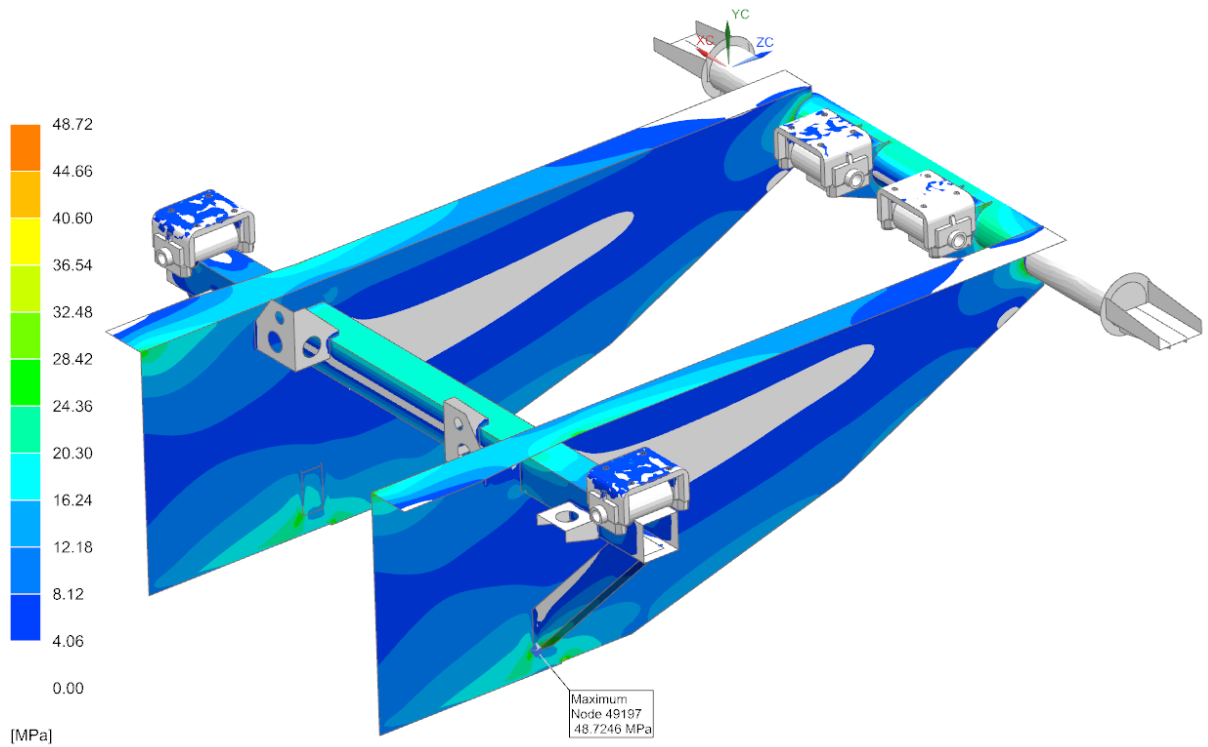


Рис. 5. Напряжения при режиме I (покой), нагрузка на основные опоры, МПа

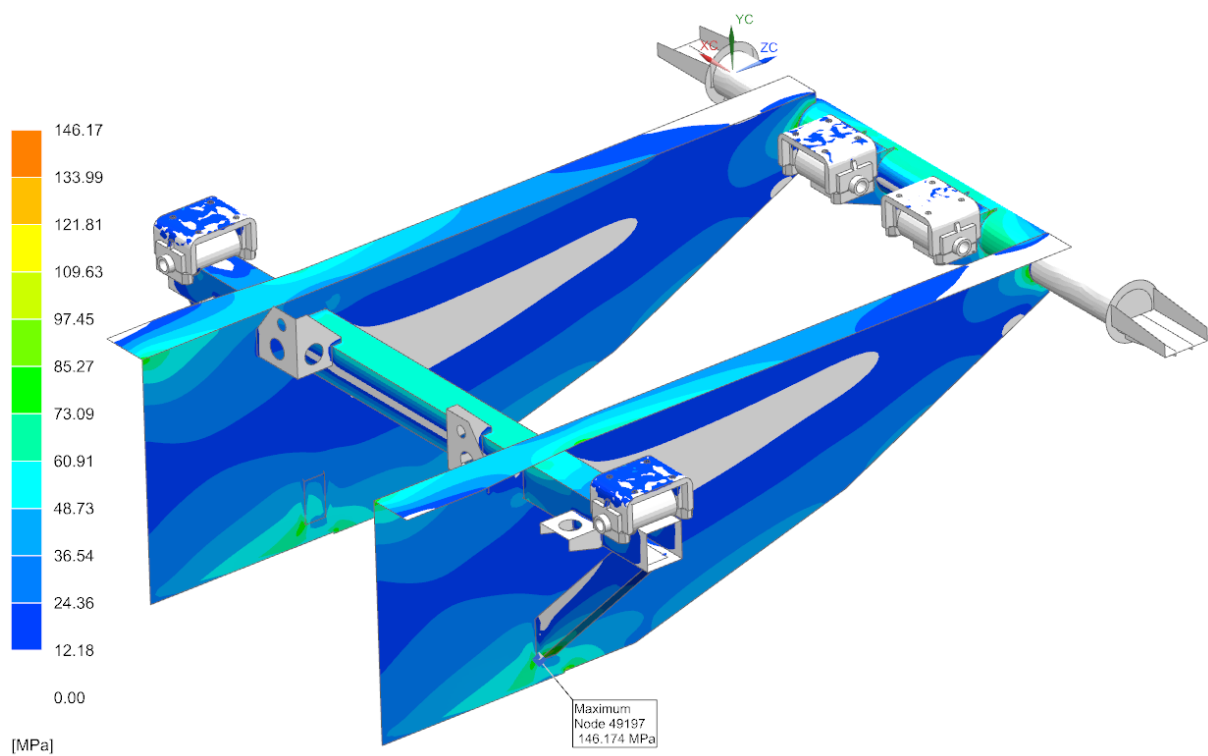


Рис. 6. Напряжения при режиме IIa (удар о препятствие в направлении +Y) нагрузка на основные опоры, МПа

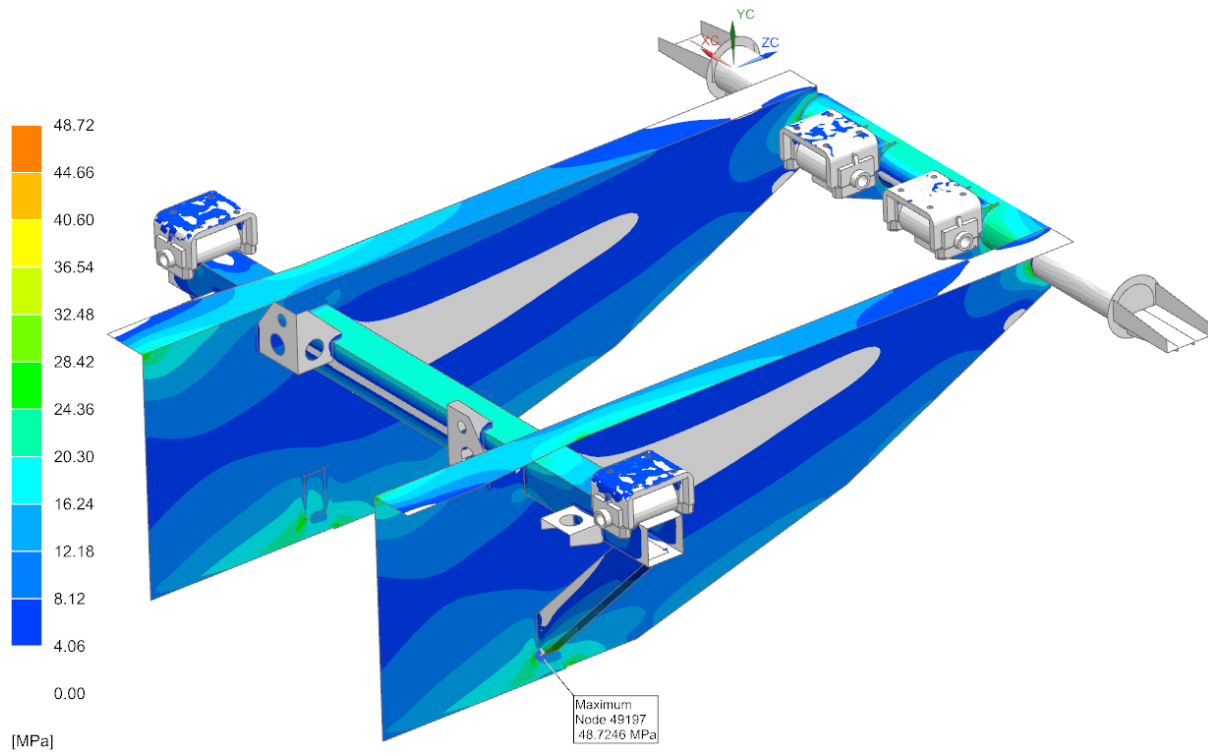


Рис. 7. Напряжения при режиме Пб (удар о препятствие в направлении $-Y$) нагрузка на основные опоры, МПа

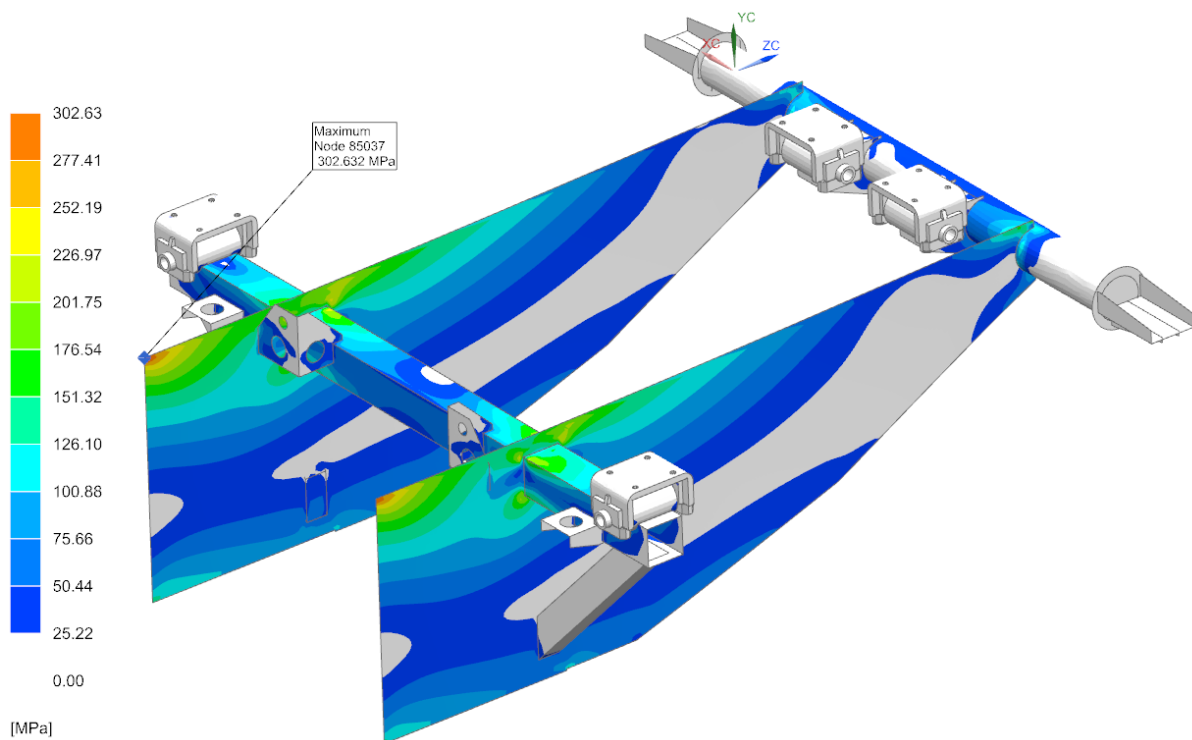


Рис. 8. Напряжения при режиме Пв (поворот в направлении $+X$) нагрузка на основные опоры, МПа

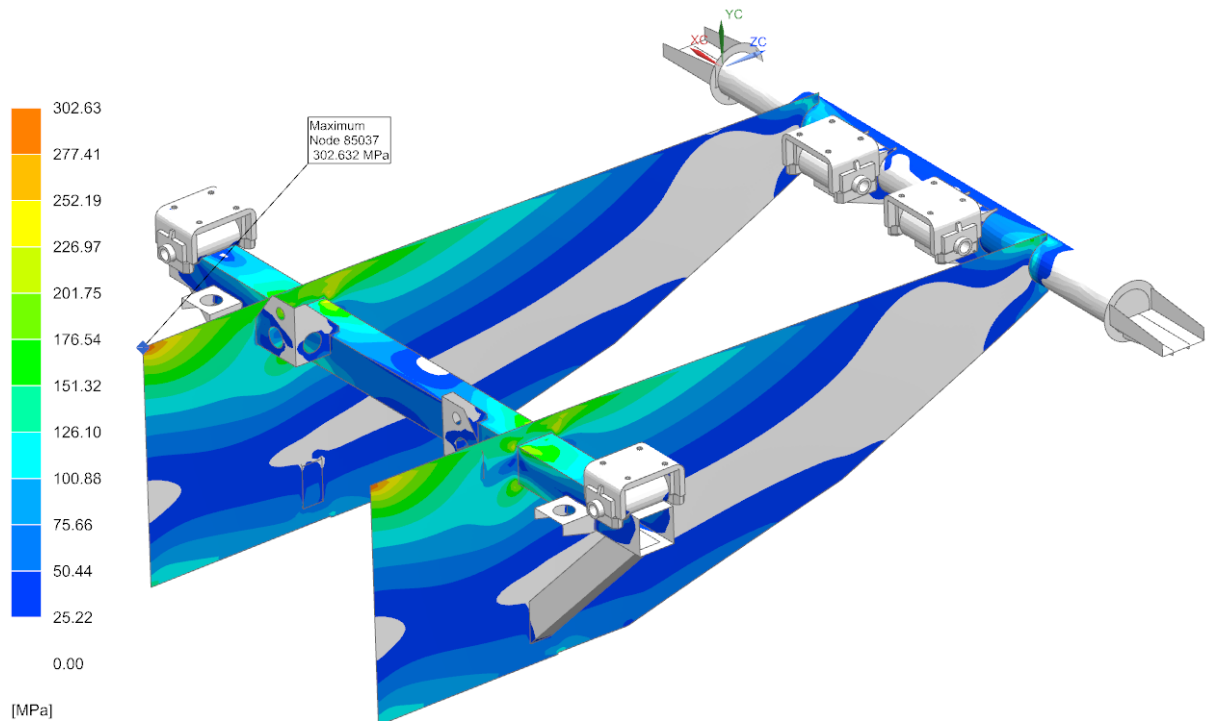


Рис. 9. Напряжения при режиме IIIб (поворот в направлении $-X$) нагрузка на основные опоры, МПа

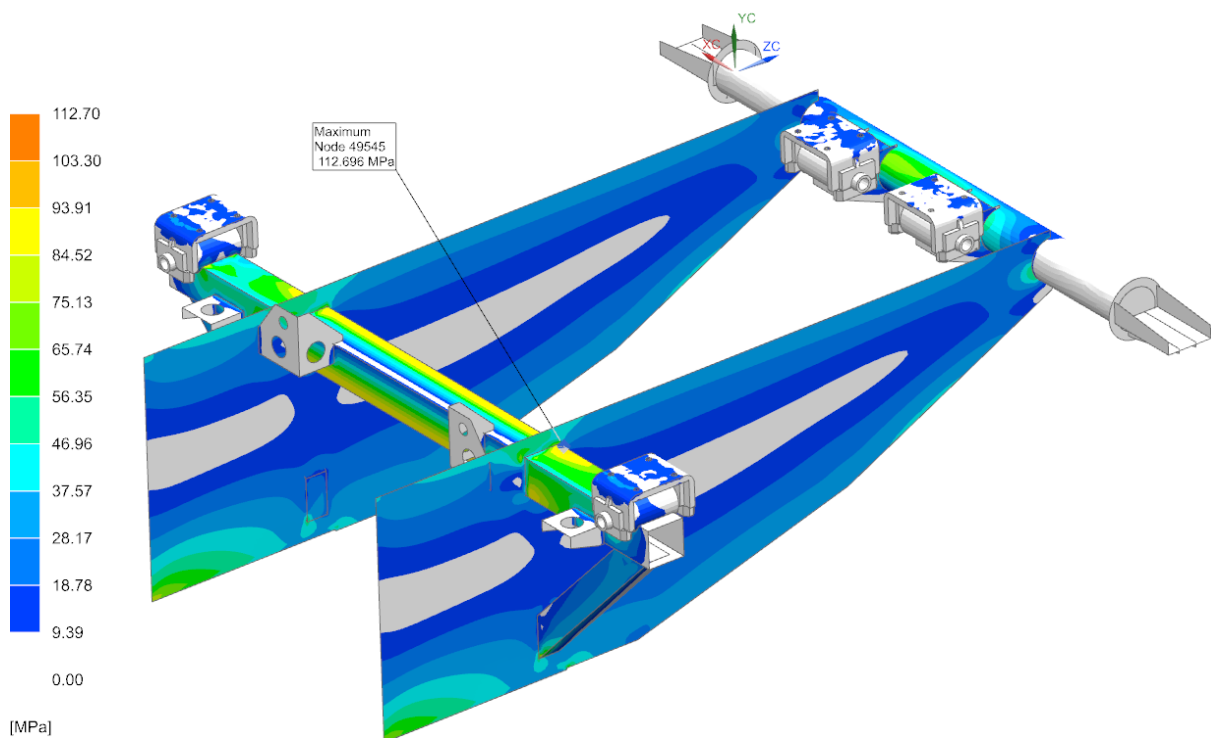


Рис. 10. Напряжения при режиме IVa (ускорение в направлении $-Z$) нагрузка на основные опоры, МПа

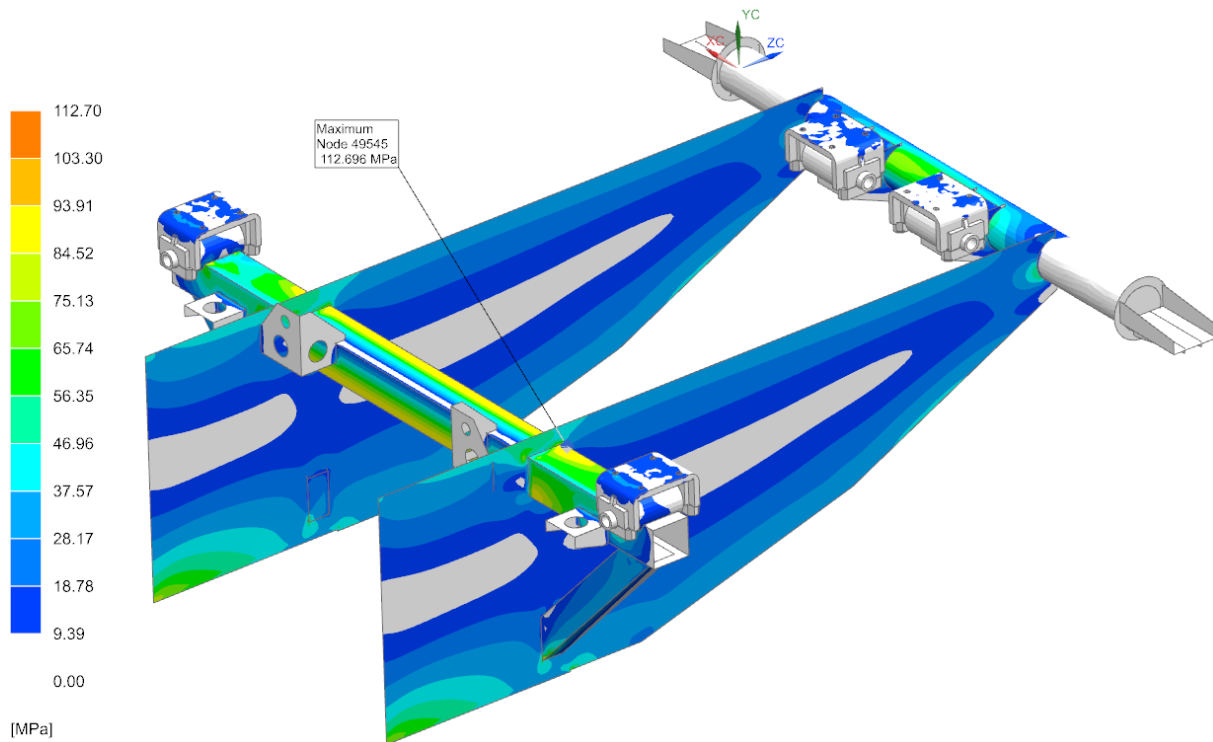


Рис. 11. Напряжения при режиме IVб (торможение в направлении +Z) нагрузка на основные опоры, МПа

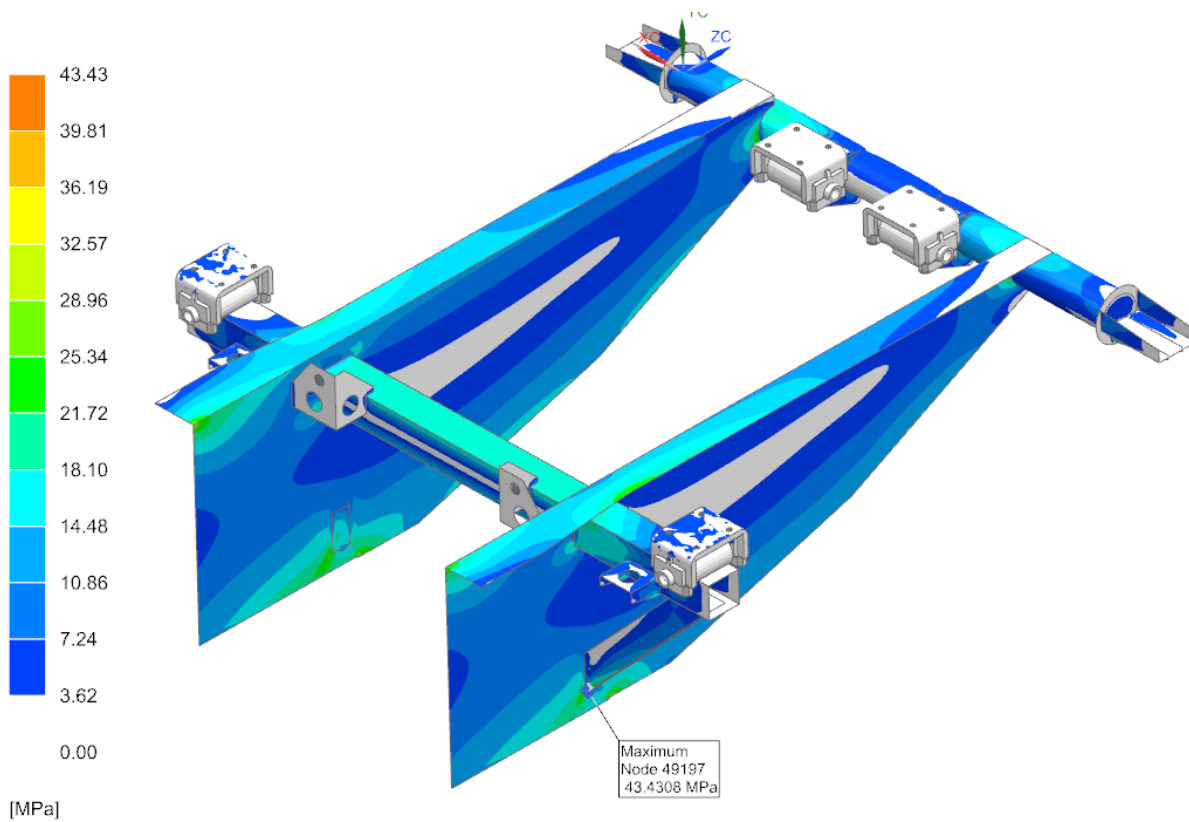


Рис. 12. Напряжения при режиме I (покой), нагрузка на все опоры, МПа

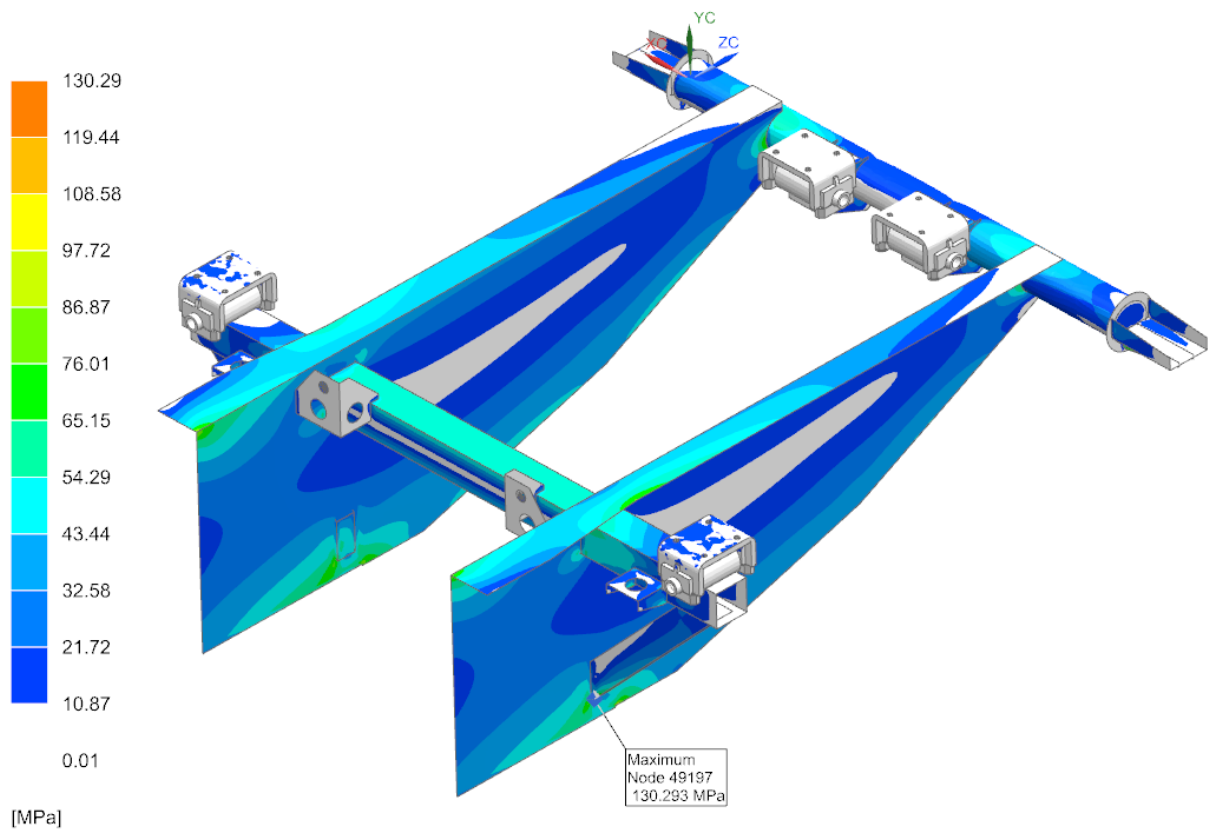


Рис. 13. Напряжения при режиме Па (удар о препятствие в направлении +Y) нагрузка на все опоры, МПа

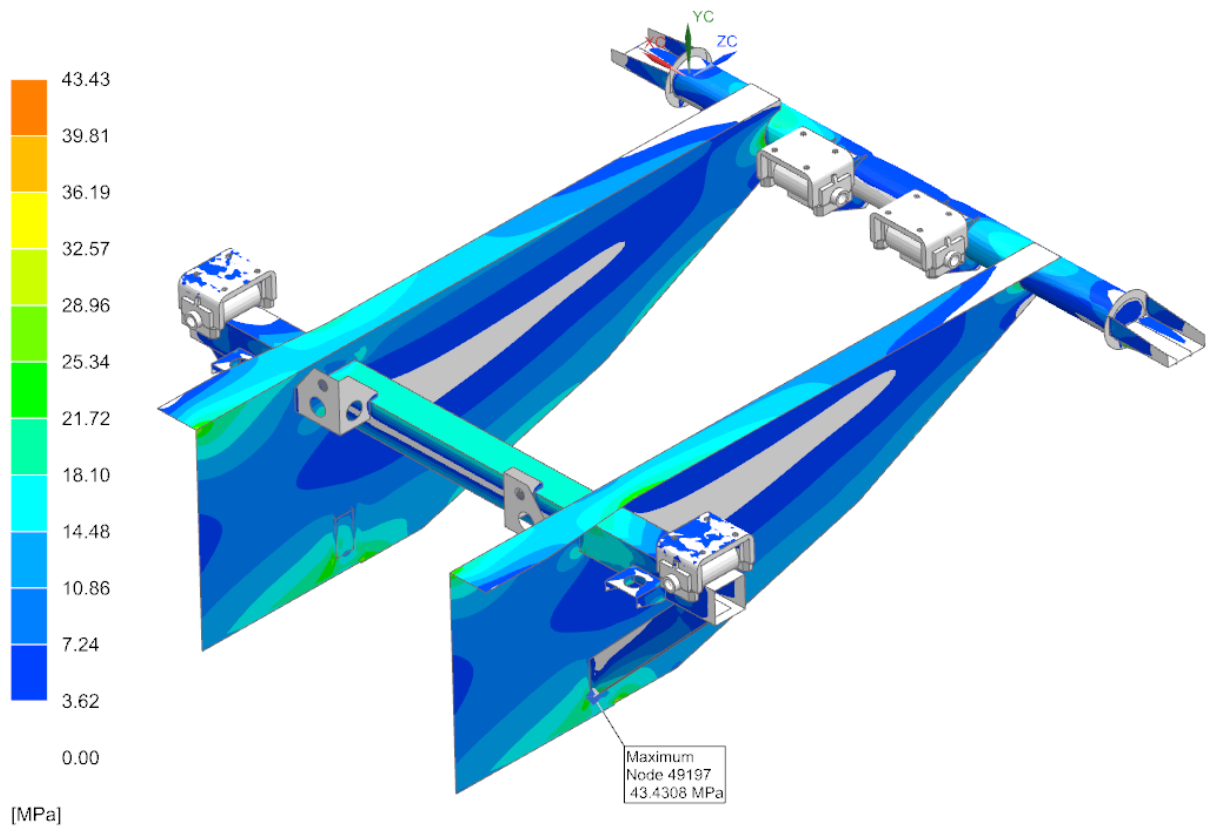


Рис. 14. Напряжения при режиме Пб (удар о препятствие в направлении -Y) нагрузка на все опоры, МПа

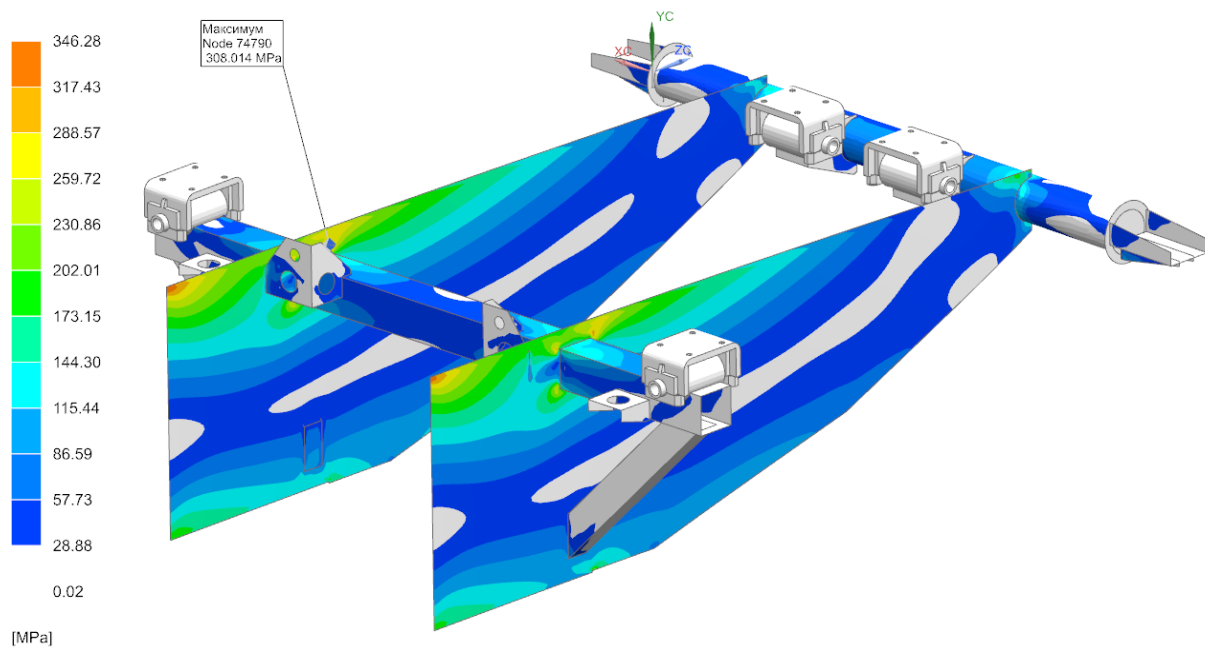


Рис. 15. Напряжения при режиме IIIа (поворот в направлении +X) нагрузка на все опоры, МПа

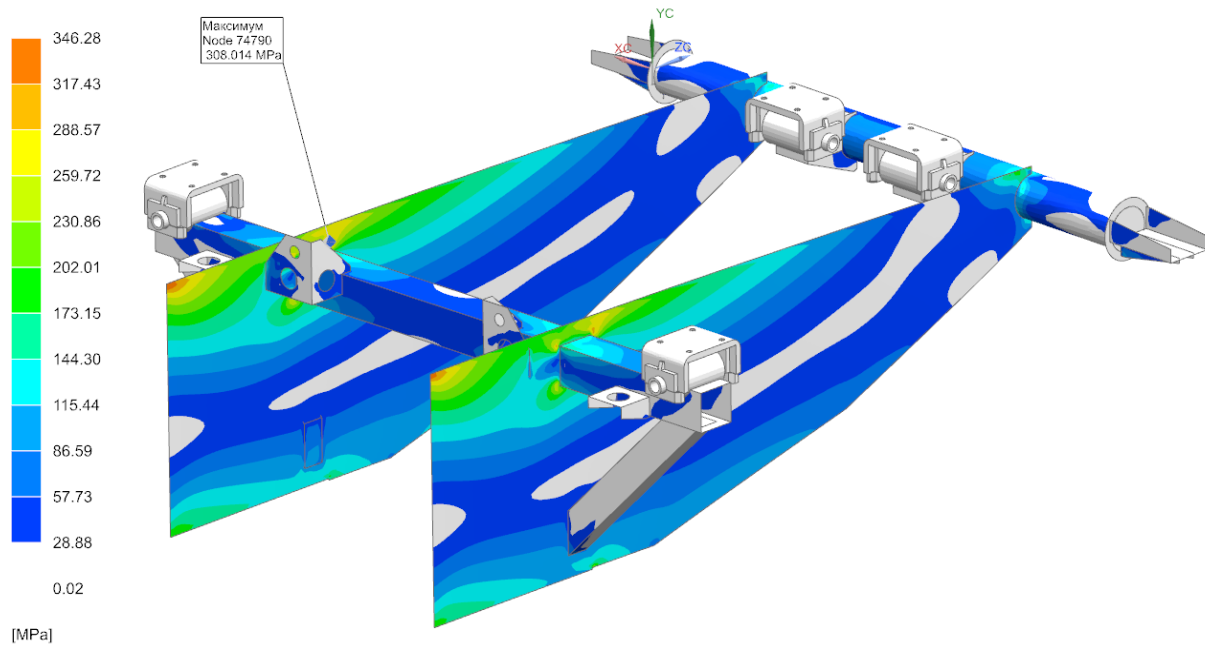


Рис. 16. Напряжения при режиме IIIб (поворот в направлении -X) нагрузка на все опоры, МПа

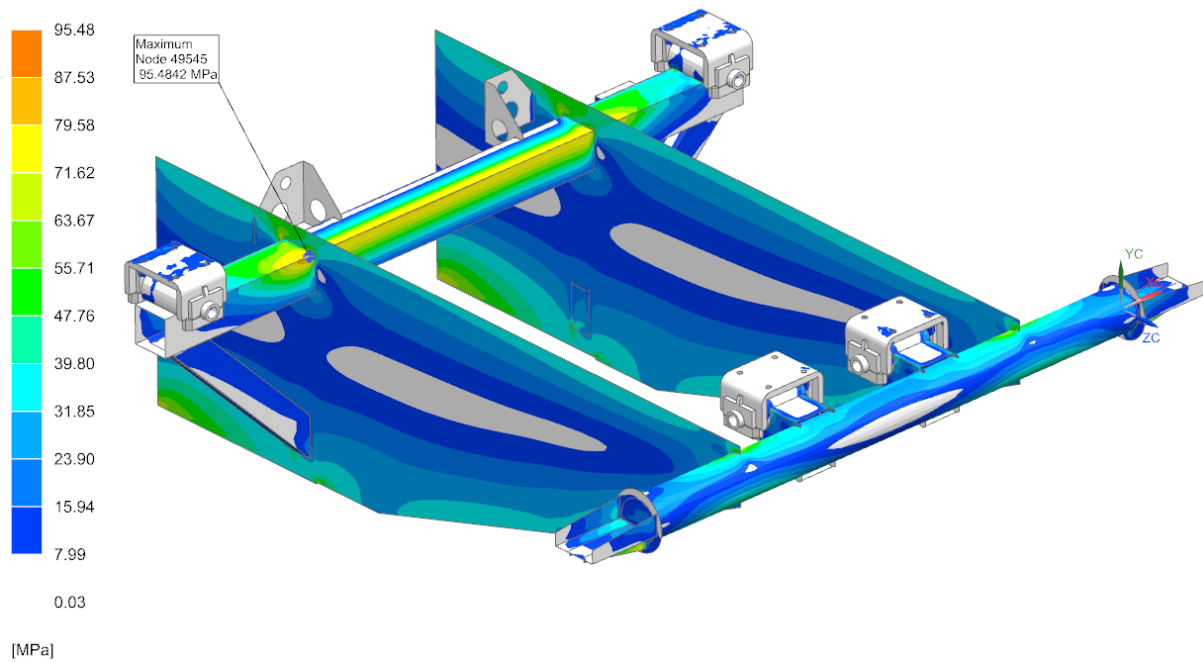


Рис. 17. Напряжения при режиме IIIб (поворот в направлении $-X$)
 нагрузка на все опоры, МПа

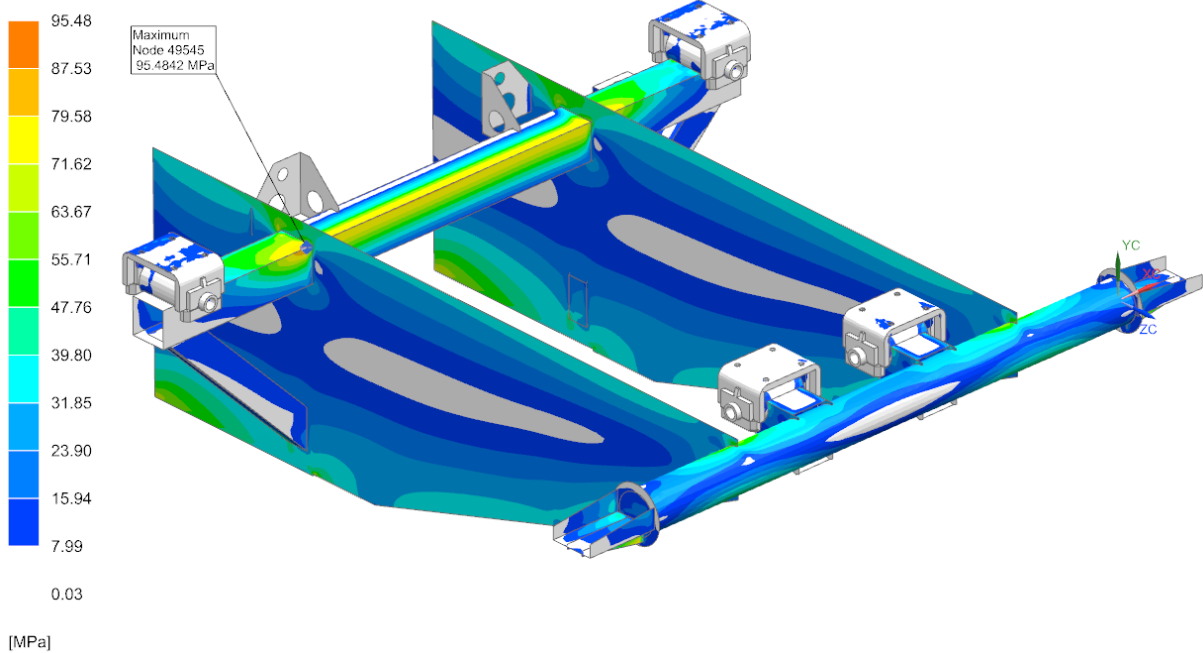


Рис. 18. Напряжения при режиме IVа (ускорение в направлении $-Z$)
 нагрузка на все опоры, МПа

Сводная табл. 2 содержит информацию о результатах расчета.

Таблица 2
Результаты расчета и их оценка

Зона	Максимальные напряжения, МПа	Допускаемые напряжения, МПа	Коэффициент запаса
Нагрузка на основные опоры			
I	48,724	180	4,43
IIa	146,17	180	1,47
IIб			
IIIa	302,63	325	1,28
IIIб			
IVa	112,70	180	1,91
IVб			
Нагрузка на все опоры			
I	43,43	180	4,97
IIa	130,29	180	1,66
IIб			
IIIa	308,01	325	1,27
IIIб			
IVa	95,48	180	2,26
IVб			

Список литературы

1. Лагереv А.В., Таричко В.И., Лагереv И.А. Компонировка технологического оборудования на базовом шасси мобильного транспортно-перегрузочного канатного комплекса // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2020. №3. С. 388-403. DOI: 10.22281/2413-9920-2020-06-03-388-403

2. Лагереv И.А., Лагереv А.В., Таричко В.И. Варианты компоновки основного технологического оборудования на базовых шасси мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов и их сравнительный анализ // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2021. № 3. С. 236-250. DOI: 10.22281/2413-9920-2021-07-03-236-250

3. Таричко В.И., Лагереv И.А. Концепция создания мобильных канатных дорог на базе колесных шасси // Инновационное развитие подъемно-транспортной техники. Материалы Всероссийской научно-практической конференции. 2019. С. 84-87.

6. Основные выводы

В ходе исследования разработаны математические модели для анализа напряженно-деформированного состояния креплений кабины шасси высокой грузоподъемности.

Результаты проведенных расчетов показали, что прочность рассмотренной конструкции элементов крепления кабины шасси высокой грузоподъемности обеспечена. При этом для конструкции минимальный коэффициент запаса прочности по пределу текучести составляет 1,27.

Наиболее нагруженными являются: зона примыкания трубы задней опоры к лонжерону при режимах движения, связанных с поворотами (коэффициент запаса прочности в наиболее неблагоприятном режиме составляет 1,27); зона примыкания подкосов трубы задних опор к лонжеронам при высоких значениях вертикальных ускорений (3g), (коэффициент запаса прочности в наиболее неблагоприятном режиме составляет 1,47).

References

1. Lagerev A.V., Tarichko V.I., Lagerev I.A. Placement of technological equipment on the basic chassis of the mobile transportation and reloading rope complex. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2020, No.3, pp. 388-403. DOI: 10.22281/2413-9920-2020-06-03-388-403 (In Russian)

2. Lagerev I.A., Lagerev A.V., Tarichko V.I. Variants of the layout of the main technological equipment on the base chassis of mobile transport and reloading rope complexes and their comparative analysis. *Nauchno-tekhnicheskii vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2021, No.3, pp. 236-250. DOI: 10.22281/2413-9920-2021-07-03-236-250 (In Russian)

3. Tarichko V.I., Lagerev I.A. The concept of creating mobile ropeways based on special wheeled chassis. *Materiialy Vseross. nauchnoprakt. konf. «Innovatsionnoe razvitie podemno-transportnoy tekhniki»*, Bryansk, BGTU, 2019, pp. 84-87. (In Russian)

4. Лагерев А.В., Лагерев И.А. Оптимальное проектирование линий канатного метро в условиях сильно урбанизированной городской среды // Известия Московского государственного технического университета МАМИ. 2015. Т.1. №1. С. 57-65.

5. Короткий А.А., Лагерев А.В., Месхи Б.Ч., Лагерев 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: <http://doi.org/10.5281/zenodo.3551132>

6. Лагерев А.В., Лагерев И.А., Таричко В.И. Конструкции и основы проектирования мобильных транспортно-перегрузочных канатных комплексов. Брянск: РИСО БГУ, 2020. 207 с.

7. Лагерев И.А. Сравнительный анализ гидравлических кранов-манипуляторов транспортно-технологических машин и гидравлических манипуляторов промышленных роботов // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2016. №3. С. 16-49. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1198767>

8. Гринчар Н.Г. Надежность гидроприводов строительных, путевых и подъемно-транспортных машин. М.: ООО «Издательский дом «Автограф», 2016. 368 с.

9. Гринчар Н.Г., Гринчар Н.Н. Основы надежности машин. М.: ФГБУ ДПО «Учебно-методический центр по образованию на железнодорожном транспорте», 2021. 503 с.

10. Ковалев А.В., Трушин Н.Н., Сальников В.С. Прогнозирование технического состояния технологического оборудования // Известия Тульского государственного университета. Технические науки. 2014. №11-2. С. 554-559.

11. 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: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1202237>

12. Вершинский А.В., Лагерев И.А., Шубин А.Н., Лагерев А.В. Расчет металлических конструкций подъемно-транспортных машин методом конечных

4. Lagerev A.V., Lagerev I.A. Optimal design of cable subway lines in a highly urbanized city environment. *Izvestiya MGTU "MAMI"*, 2015, Vol.1, No.1, pp. 57-65. (In Russian)

5. Korotkiy A.A., Lagerev A.V., Meskhi B.Ch., Lagerev I.A., Panfilov A.V., Tarichko V.I. *Transportno-logisticheskie tekhnologii i mashiny dlya tsifrovoy urbanizirovannoy sredy* [Transport and logistics technologies and machines for the digital urban environment]. Rostov-on-Don, Don State Technical University, 2019. 268 p. DOI: <http://doi.org/10.5281/zenodo.3551132> (In Russian)

6. Lagerev A.V., Lagerev I.A., Tarichko V.I. *Konstruktzii i osnovy proektirovaniya mobilnykh transportno-peregruzochnykh kanatnykh kompleksov* [Structures and design fundamentals of mobile transporting and overloading rope facilities]. Bryansk, RISO BGU, 2020. 207 p. (In Russian)

7. Lagerev I.A. Comparative analysis of hydraulic crane-manipulating installations transport and technological machines and industrial robots hydraulic manipulators. *Nauchno-tehnicheskiiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2016, No.3, pp. 16-49. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1198767> (In Russian)

8. Grinchar N.G. *Nadezhnost gidroprivodov stroitelnykh, putevykh i podemno-transportnykh mashin* [Reliability of hydraulic drives of construction, track and lifting and transport machines]. Moscow, ООО «Izdatelskiy dom «Avtograf», 2016, pp. 368. (In Russian)

9. Grinchar N.G., Grinchar N.N. *Osnovy nadezhnosti mashin* [Fundamentals of machine reliability]. Moscow, FGBU DPO «Uchebno-metodosicheskiy tsentr na zeleznodorojnom transporte», 2021, pp. 503. (In Russian)

10. Kovalev A.V., Trushin N.N., Salnikov V.S. The prediction of the technical condition of equipment. *Izvestiya Tuskogo gosudarstvennogo universiteta. Tekhnicheskie nauki*, 2014, No.11-2, pp. 554-559. (In Russian)

11. Vershinckii A.V., Lagerev I.A., Shubin A.N., Lagerev A.V. *Chislennyy analiz metallicheskiikh konstruktсий podemno-transportnykh mashin* [Numerical analysis of

элементов. Брянск: РИО БГУ, 2015. 210 с.
DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1202240>

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

14. Лагереv И.А. Динамическая нагруженность крана-манипулятора самоходной машины для сварки трубопроводов при движении с грузом // Подъемно-транспортное дело. 2013. №1. С. 4-7.

15. Лагереv И.А., Мильто А.А., Лагереv А.В. Снижение ударной нагрузки, вызываемой люфтом в шарнирных соединениях звеньев крана-манипуляторных установок // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2015. № 2. С. 37-44.

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1198382>

16. Лагереv И.А., Мильто А.А., Лагереv А.В. Эффективность упругого демпфирования в шарнирных соединениях стрел крана-манипуляторных установок при повышенных зазорах // Научно-технический вестник Брянского государственного университета. 2016. № 1. С. 18-36.

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1198446>

17. Анцев В.Ю., Шафорост А.Н., Трушин Н.Н. Верификация математической модели структурно-параметрического синтеза системы подъемно-транспортных машин цехов и участков машиностроительных предприятий // Материалы Международной научно-технической конференции «Наземные транспортно-технологические комплексы и средства. Тюмень: ТИУ, 2020. С. 32-36.

18. 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: 10.22281/2413-9920-2019-07-01-73-81

metal constructions of lifting-transport machines]. Bryansk, Bryanskiy Gosudarstvennyy Universitet, 2014. 186 p.

DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1202237> (In Russian).

12. Vershinckii A.V., Lagerev I.A., Shubin A.N., Lagerev A.V. *Raschet metallicheskih konstruktсий podemno-transportnykh maschin 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: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1202240> (In Russian).

13. 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)

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. Lagerev I.A., Milto A.A., Lagerev A.V. Reducing the impact load arising from the looseness in joints of articulating cranes. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2015, No.2, pp. 37-43. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1198382> (In Russian)

16. Lagerev I.A., Milto A.A., Lagerev A.V. Effectiveness of elastic damping in the pivot joints of cargo boom of cranemanipulating installations at large gaps. *Nauchno-tekhnicheskiiy vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo universiteta*, 2016, No.1, pp. 18-36. DOI: <https://doi.org/10.5281/zenodo.1198446> (In Russian)

17. Antsev V.Yu., Shaforost A.N., Trushin N.N. The prediction of the technical condition of equipment. *Proc. of the Int. conf. «Nazemnye transportno-tekhnologicheskie mashiny i komplekсы»*, Tumen, 2020, pp. 32-36. (In Russian)

18. Tarichko V.I., Shalupina P.I. Load simulation of a semi-trailer of the mobile transport and overloading rope complex. *Nauchno-*

† *tekhnicheskij vestnik Bryanskogo*
† *gosudarstvennogo universiteta, 2021, No.1,*
† *pp. 73-81. DOI: 10.22281/2413-9920-2019-07-*
† *01-73-81 (In Russian)*