

УДК 629.1

05.20.01 – Технологии и средства механизации сельского хозяйства (технические науки)

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЧНОСТНЫХ СВОЙСТВ РАМЫ ГРУЗОВОЙ ПЛАТФОРМЫ КОЛЕСНОГО ФОРВАРДЕРА

Алябьев Алексей Федорович

д.т.н., профессор

Scopus Author ID: 57208470075

РИНЦ SPIN-код: 6093-1882

alyabiev@mgul.ac.ru

Мытищинский филиал МГТУ им. Н. Э. Баумана, Россия, 141005, Московская обл., г. Мытищи, ул. 1-я Институтская, д. 1

Федотов Михаил Владимирович

Ведущий инженер

fedotovmv@bmstu.ru*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Россия, 105005, Москва, 2-я Бауманская улица, 5*

Колесников Алексей Борисович

Ведущий инженер

kollesnikov.a.b@bmstu.ru*Московский государственный технический университет им. Н.Э. Баумана, Россия, 105005, Москва, 2-я Бауманская улица, 5*

В статье представлены результаты исследований прочностных свойств задней полурамы шарнирно-сочлененного колесного форвардера. Задняя полурама - это технологический модуль оснащенный манипулятором и кониковой площадкой в которой перевозятся сортименты. Технологический модуль испытывает больше всего нагрузок в процессе работы машины. В прикладном пакете программ Siemens NX методом конечных элементов была проведена оценка напряженно-деформированного состояния рамы технологического модуля. Дано описание конечно-элементной модели. Представлены нагрузки, граничные условия, а также расчетные случаи нагружения рамы

Ключевые слова: ФОРВАРДЕР, РАМА, ПРОЧНОСТНЫЕ СВОЙСТВА, ЭКВИВАЛЕНТНЫЕ НАПРЯЖЕНИЯ, ПЕРЕМЕЩЕНИЯ

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-174-003>

UDC 629.1

05.20.01 - Technologies and means of agricultural mechanization (technical sciences)

EXAMINATION OF THE STRENGTH PROPERTIES OF THE CARGO PLATFORM FRAME OF A WHEEL FORWARDER

Alyabiev Alexey Fedorovich

Dr.Sci.Tech., professor

Scopus Author ID: 57208470075

RSCI SPIN-code: 6093-1882

*Mytishchi branch Bauman Moscow State Technical University, Russia, 141005, Moscow region, Mytishchi, 1-ya Institutskaya, 1
alyabiev@mgul.ac.ru*

Fedotov Mikhail Vladimirovich

Lead Engineer

fedotovmv@bmstu.ru*Bauman Moscow State Technical University, Russia, 105005, Moscow, 2-ya Baumanskaya, 5*

Kolesnikov Alexey Borisovich

Lead Engineer

kollesnikov.a.b@bmstu.ru*Bauman Moscow State Technical University, Russia, 105005, Moscow, 2-ya Baumanskaya, 5*

The article presents the results of studies of the strength properties of the rear half-frame of the articulated wheel forwarder. The rear half frame is a technological module equipped with a manipulator and a horse-drawn platform in which logs are transported. The technological module experiences the most loads during the operation of the machine. In the Siemens NX application software package, the stress-strain state of the frame of technological module was evaluated by the finite element method. We have also given description of the finite element model and presented loads, boundary conditions, and calculated cases of frame loading

Keywords: FORWARDER, FRAME, STRENGTH PROPERTIES, EQUIVALENT STRESSES, DISPLACEMENTS

Введение

Для предварительной оценки напряженно-деформированного состояния рамы грузовой платформы колесного форвардера использовался метод конечных элементов. Исходная твердотельная 3d-модель рамы задней секции форвардера представлена на рисунке 1.



Рисунок 1 - 3d-модель рамы задней секции форвардера

Материал используемый для создания конструкции – сталь 10ХСНД. Механические свойства стали представлены в таблице 1.

Таблица 1 –Механические свойства стали 10ХСНД

Модуль упругости, E, МПа	Коэфф. Пуассона, μ ,	Предел текучести, σ_T , МПа	Предел прочности, σ_B , МПа	Удлинение при разрыве, d_5 , %
200000	0,3	390	530	19

В зонах сварных швов допускаемые напряжения приняты как 80% от предела прочности основного материала: $[\sigma]W=530\text{МПа}\cdot 0,8=424\text{МПа}$.

1. Описание конечно-элементной модели

Конечно-элементная модель рамы представлена на рисунке.

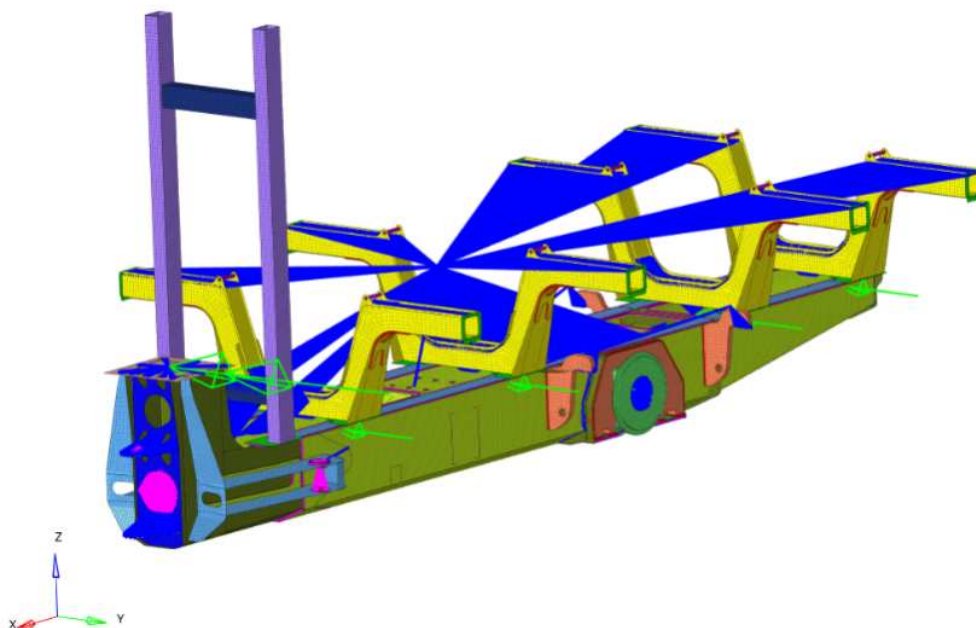


Рисунок 2 – Конечно-элементная модель рамы

Характеристика конечно-элементной модели представлена в таблице 2.

Таблица 2 –Характеристика КЭМ рамы задней секции

№	Параметр	Величина
1	Тип конечного элемента	cquad4
		HEX
		TETRA3
		RBE2
		RBE3
		COMN2
2	Количество конечных элементов	187088
		18 мм
3	Средний размер конечного элемента	18 мм

2. Нагрузки и граничные условия в расчете

Следующие расчетные случаи в качестве вариантов нагружения были приняты при расчёте на прочность рамы:

1. Нагрузка, соответствующая максимальной загрузке форвардера с коэффициентом динамичности $k=3$;

2. Нагрузка, соответствующая максимальной загрузке форвардера с имитацией вывешивания на передних отбойниках;

3. Нагрузка, соответствующая максимальной загрузке форвардера с имитацией вывешивания на задних отбойниках.

Элементы RBE 3 используются при моделировании нагружения. Данные элементы соединяют с поверхностью коников точку центра приложения массово инерционных характеристик, также RBE 3 элемент передает нагрузку от неучтенной массы (провода, жидкости, внешние световые элементы). Цилиндрические шарниры выполнены при помощи RBE 2 элемента. Моделирование нагрузки представлено на рисунке .

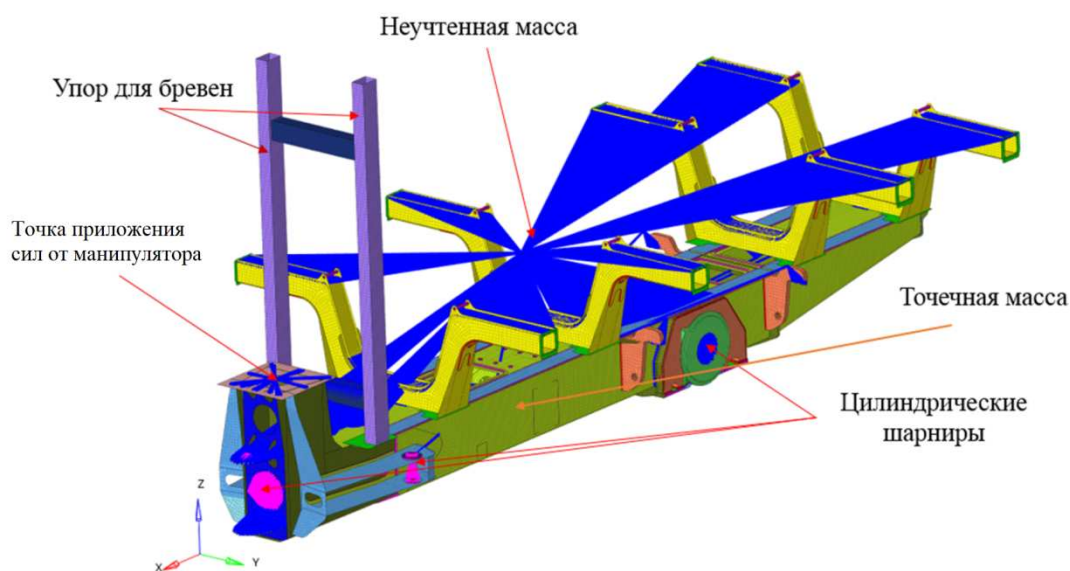


Рисунок 3 – Моделирование нагрузки

Для упрощения сетки и повышения скорости расчета сетку для упора сортиментов моделировали эквивалентной конструкцией. Нагрузка от манипулятора передается RBE 3 элементом. Элементом COMN 2 реализованы массово инерционные характеристики в точке центра масс.

В расчетном случае используется система из уравнивающих себя сил и моментов, взятых из динамической модели форвардера. Моделирование нагрузочного режима показано на рисунке 2. Стрелками показаны уловные обозначения сил и моментов.

Так как в модели применена балансирующая подвеска, то в расчете на прочность моделируется часть моста и прикладывается сразу результирующая сила. Болтовые соединения реализованы СВЕАМ элементом. Пояснения к модели представлены на рисунке 4.

Точка приложения результирующих сил от балансирующей подвески

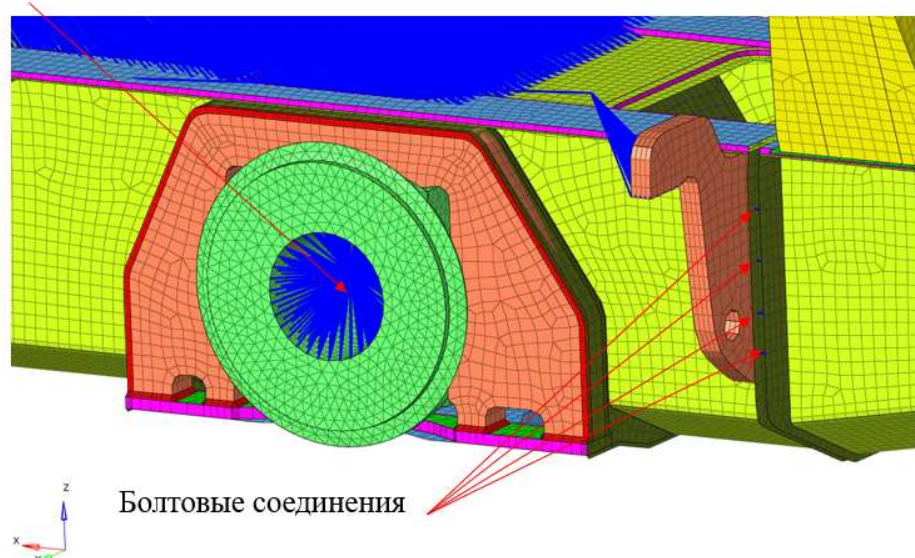


Рисунок 4 - Пояснения к КЭ модели

3. Результаты расчета

Результаты расчета представлены на рисунках

1. Равновесие на горизонтальной опорной поверхности.

Максимальные перемещения составили 3,5 мм в зоне заднего свеса (рисунок 5). Максимальные напряжения составили 190 МПа в зонесварных швов крепления заднего свеса (рисунки 6 и 7).

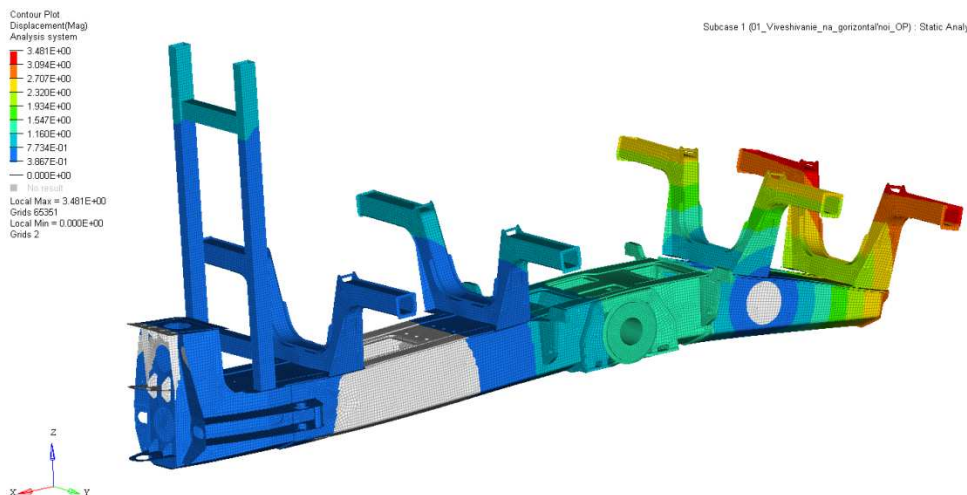
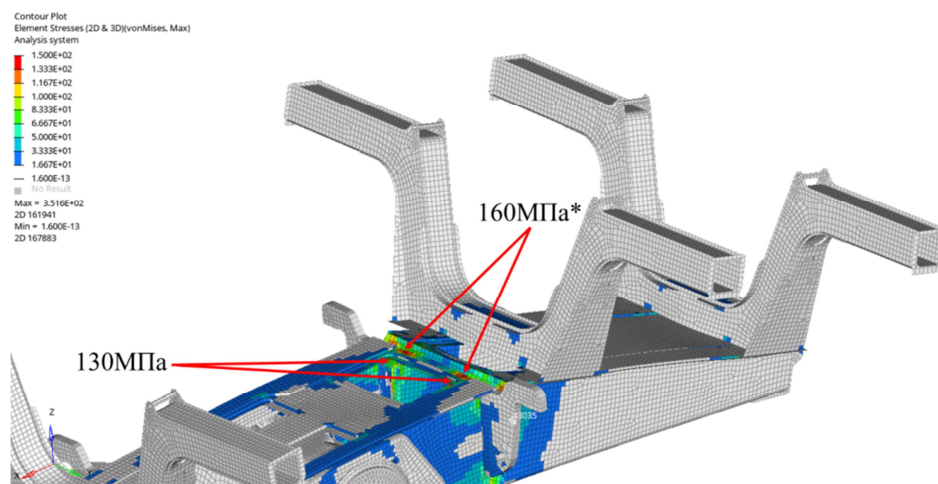
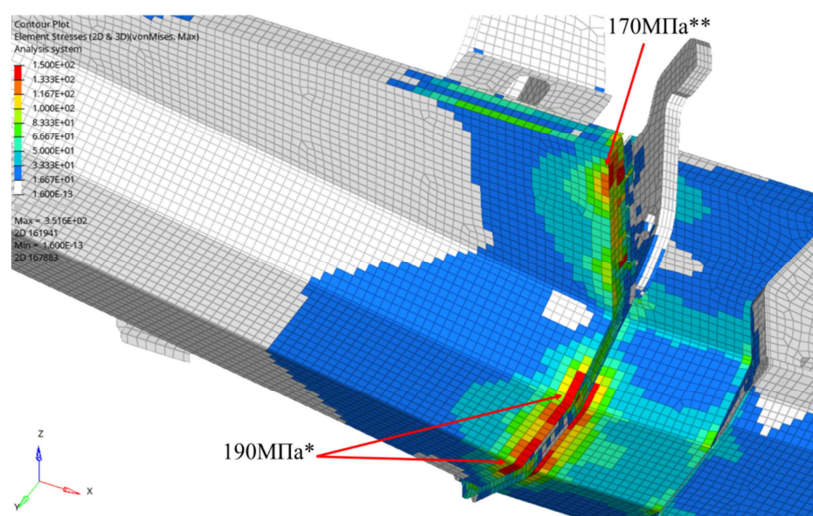


Рисунок 5 -Перемещения, мм, масштаб 100:1



* - напряжеия в зоне сварных швов

Рисунок 6 - Эквивалентные напряженияпо Мизесу, МПа



* - напряжеия в зоне сварных швов; ** - напряжеия в зоне болтов

Рисунок 7 - Эквивалентные напряженияпо Мизесу, МПа

2. Максимальная загрузка с имитацией вывешивания на первой оси.

Максимальные перемещения составили 3,2 мм в зоне заднего свеса (рисунок 8). Максимальные напряжения составили 175 МПа в зоне сварных швов заднего свеса (рисунок 9)

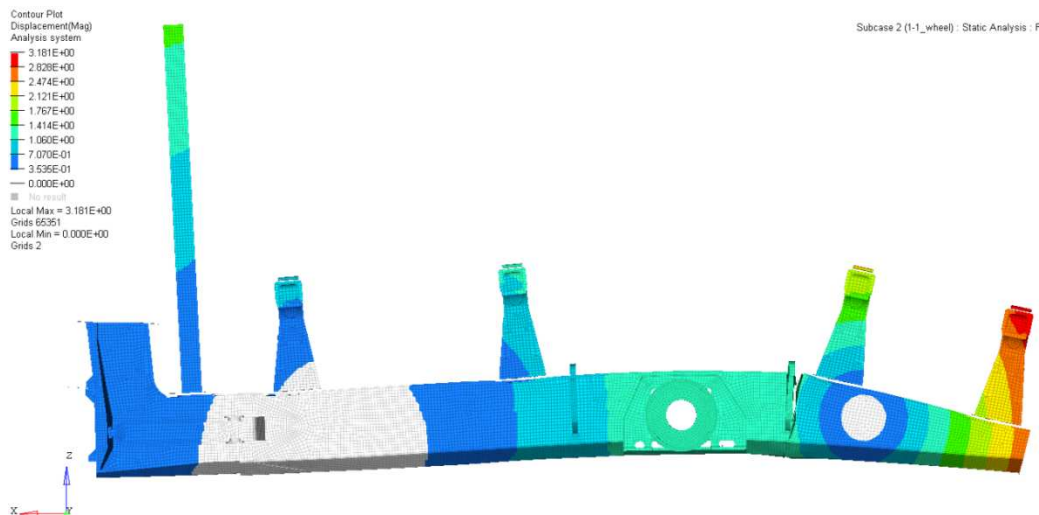
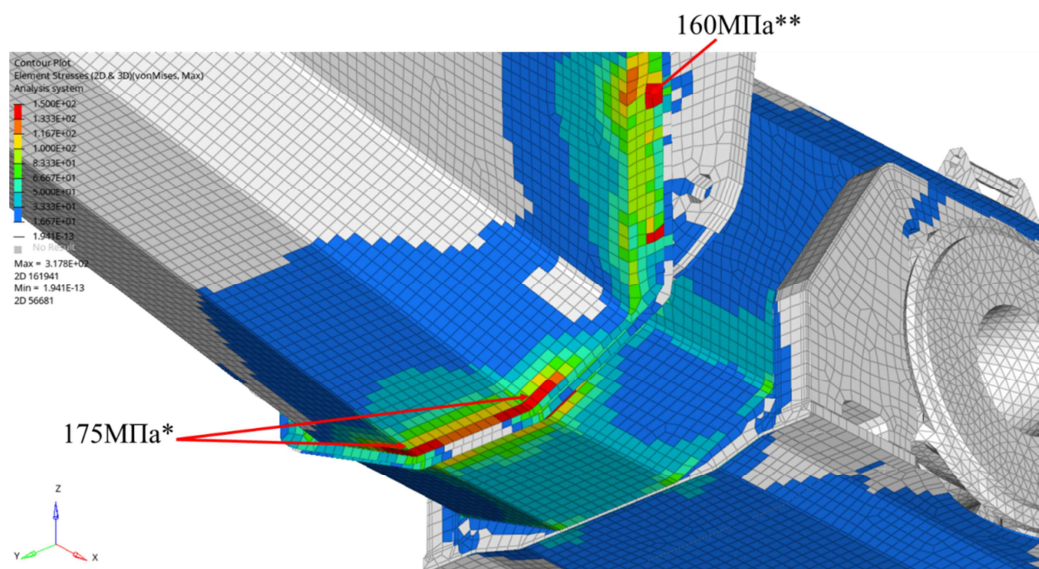


Рисунок 8 - Перемещения, мм, масштаб 100:1



* - напряжеия в зоне сварных швов; ** - напряжеия в зоне болтов

Рисунок 9 - Эквивалентные напряжения по Мизесу, МПа

3. Максимальная загрузка форвардера с имитацией вывешивания второй оси.

Максимальные перемещения составили 2,8 мм в зоне заднего свеса (рисунок 10). Максимальные напряжения составили 180 МПа в зоне сварных швов заднего свеса (рисунок 11).

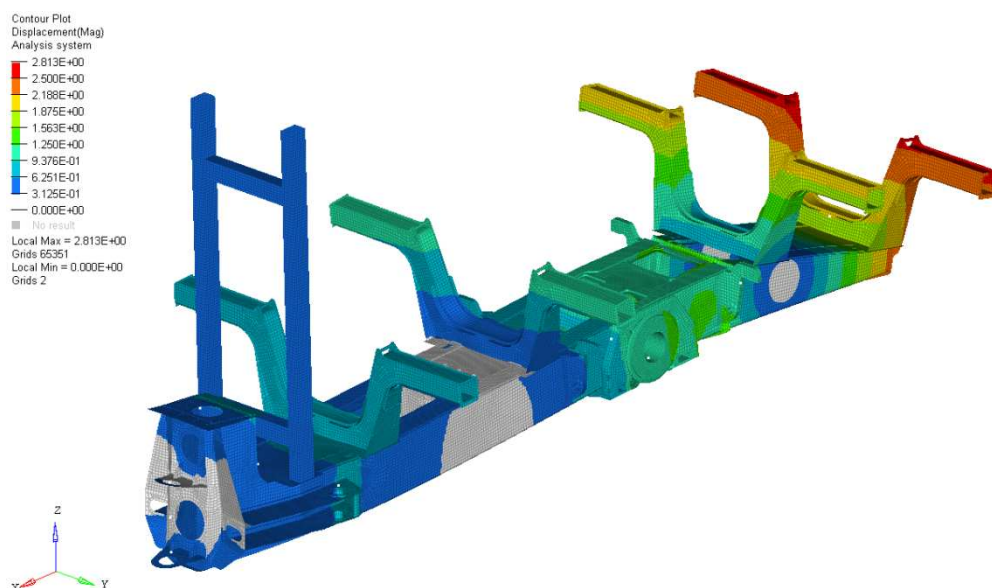
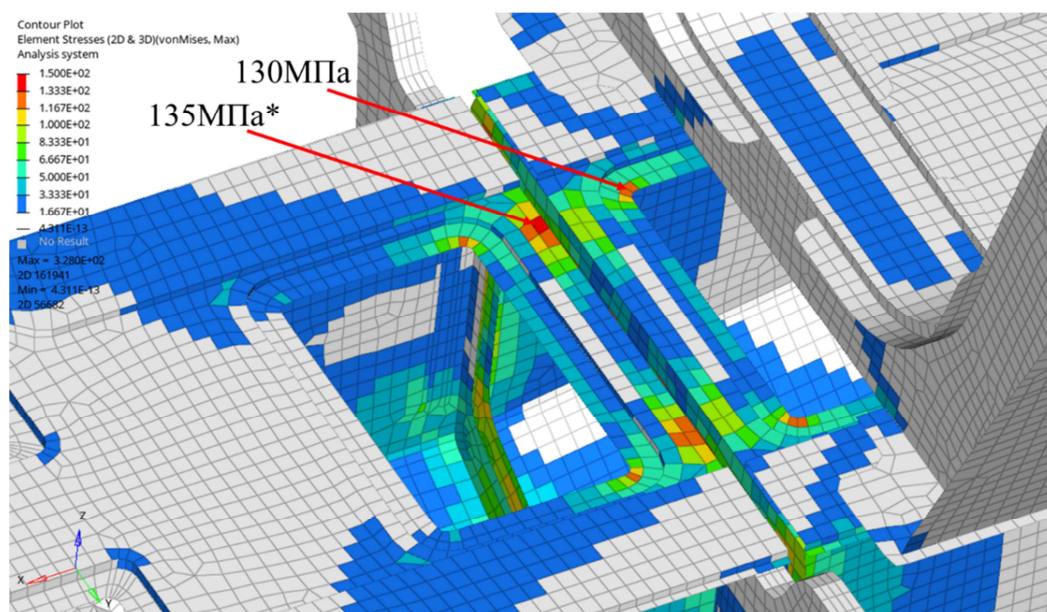


Рисунок 10 - Перемещения, мм, масштаб 100:1



* - напряжения в зоне сварных швов

Рисунок 11 - Эквивалентные напряжения по Мизесу, МПа

4. Максимальная нагрузка форвардера с имитацией вывешивания четвертой оси.

Максимальные перемещения составили 8,5 мм в зоне заднего свеса (рисунок 12). Максимальные напряжения составили 420 МПа в зоне приварки отбойника (рисунки 13 – 15). Для отбойников указаны средние напряжения с пометкой «***». Усреднение напряжений связано с различным положением отбойника в трехмерной модели и твердотельной динамической модели форвардера.

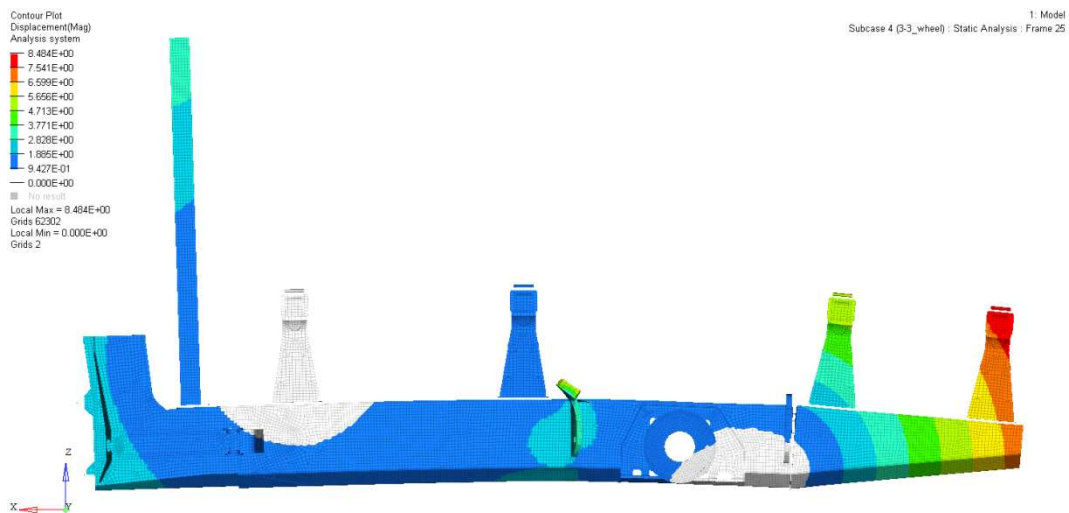
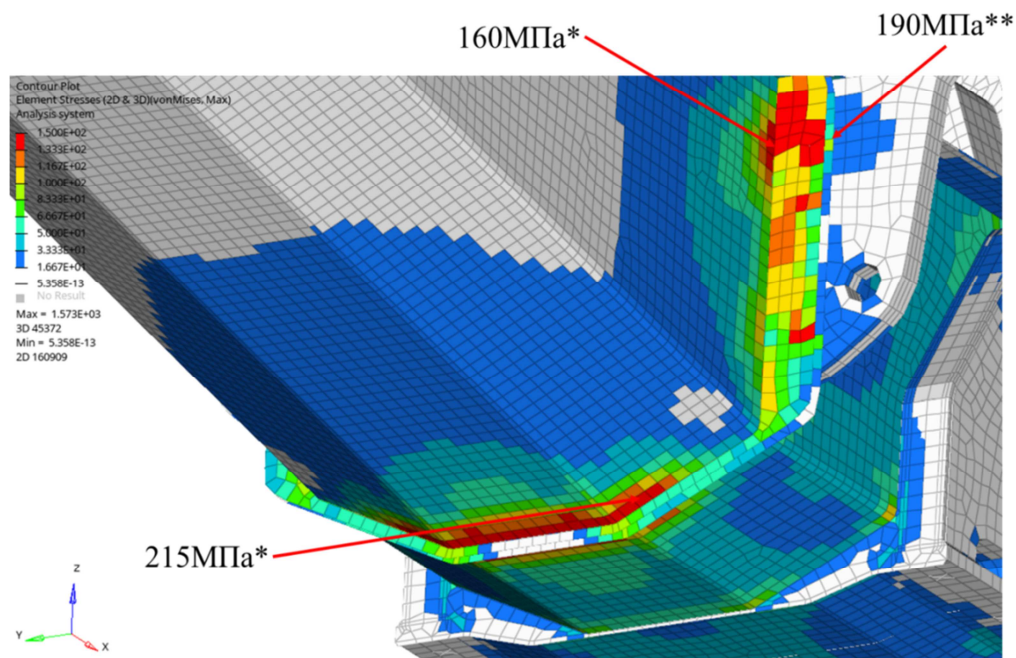
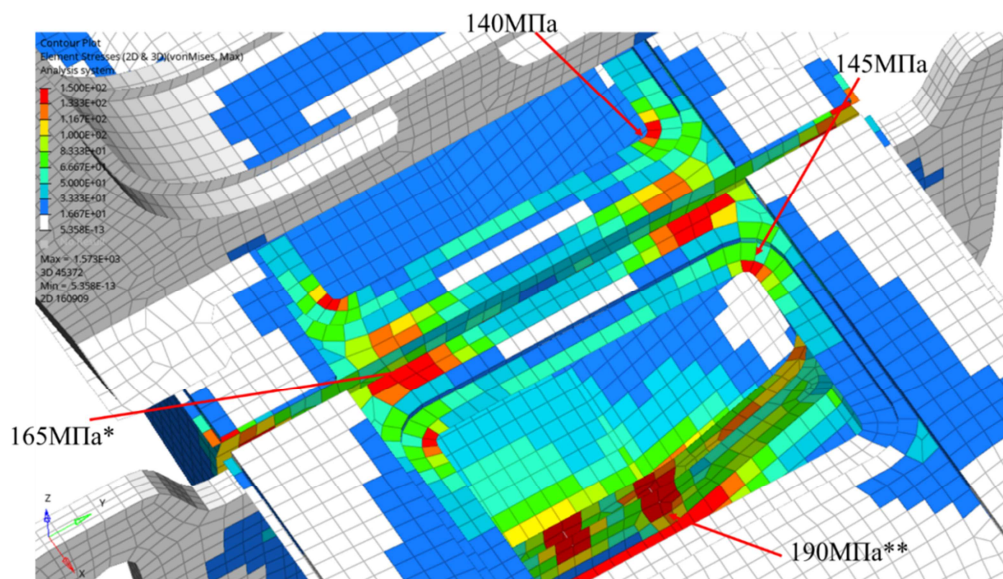


Рисунок 12 - Перемещения, мм, масштаб 20:1



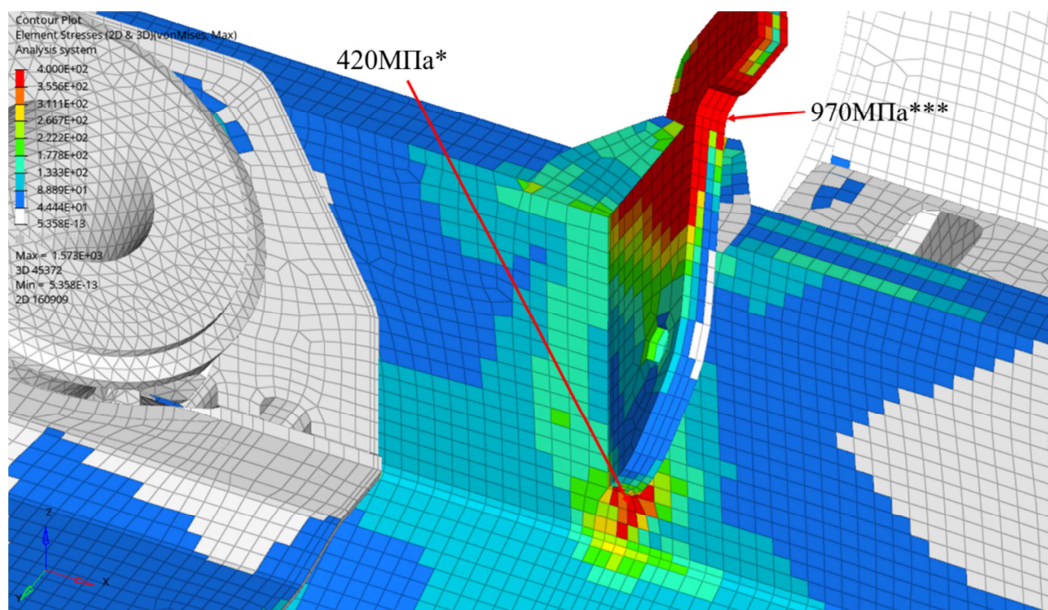
* - напряжения в зоне сварных швов ** - напряжения в зоне болтов

Рисунок 13 - Эквивалентные напряжения по Мизесу, МПа



* - напряжения в зоне сварных швов; ** - напряжения в зоне болтов

Рисунок 14 - Эквивалентные напряжения по Мизесу, МПа



* - напряжения в зоне сварных швов

Рисунок 15 - Эквивалентные напряжения по Мизесу, МПа

В таблице 3 приведены результаты расчета по всем режимам.

Таблица 3 – Результаты расчета

№ расчетного случая	Эквивалентные напряжения, МПа	Допускаемые напряжения, σ , МПа	Коэффициент запаса
1	190*	424*	2,23
2	175*		2,42
3	180*		2,36
4	420*		1,01

Вывод

Исследования показали, что каркасы задней части выдерживают приложенные нагрузки без разрушения, но возможны локальные пластические деформации. Задача решена без учета физической нелинейности материала. В основном в зоне крепления заднего свеса и мест крепления отбойников. Минимальный коэффициент запаса составляет 1,01.

Наиболее опасным случаем нагружения для задней части рамы является максимальная загрузка форвардера с имитацией вывешивания на отбойниках третьей оси (расчетный случай №4).

Благодарности: Работа выполнена в МГТУ им. Н.Э. Баумана при финансовой поддержке Министерства науки и высшего образования Российской Федерации в рамках соглашения №075-11-2019-030 от 22 ноября 2019 г.

Литература

1. Клубничкин, В.Е. Краткий анализ тенденций развития лесозаготовительных машин/ В.Е. Клубничкин, Е.Е. Клубничкин, А.Б. Карташов // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2020. – № 3 (130). – С. 93–102.
2. Клубничкин, В.Е. Исследование нагруженности кониковой площадки лесозаготовительной машины / В.Е. Клубничкин, Е.Е. Клубничкин // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 5-1 (16-1). С. 205-209.

3. Котиков, В.М. Лесозаготовительные и трелевочные машины / В.М. Котиков, Н.С. Еремеев, А.В. Ерхов. - М.: Лесная промышленность, 2004. - 336 с.
4. Клубничкин, В.Е. Современное программное обеспечение для проведения исследований по нагрузкам, устойчивости и проходимости машин / В.Е. Клубничкин, Е.Е. Клубничкин // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 5-1 (16-1). С. 209–214.
5. Клубничкин, В.Е. Расчет на прочность коников колесного форвардера / В.Е. Клубничкин, А.Б. Карташов, А.Ф. Алябьев [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2020. – № 163. – С. 67-73. – DOI 10.21515/1990-4665-163-005.
6. Клубничкин, Е.Е. Расчет конструкции технологического модуля погрузочно-транспортной машины / Е.Е. Клубничкин, В.Е. Клубничкин, М.В. Федотов [и др.] // Политематический сетевой электронный научный журнал Кубанского государственного аграрного университета. – 2020. – № 164. – С. 141-153. – DOI 10.21515/1990-4665-164-010.
7. Клубничкин, В.Е. Разработка узла сочленения лесной погрузочно-транспортной машины / В.Е. Клубничкин, Е.Е. Клубничкин, А.Ю. Горбунов, Д.Ю. Дручинин // Лесотехнический журнал. – 2020. – Т. 10. – № 4(40). – С. 217-226. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2020.4/18.
8. Клубничкин, Е.Е. Исследование нагруженности опоры манипулятора / Е.Е. Клубничкин, В.Е. Клубничкин // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. 2015. Т. 3. № 5-1 (16-1). С. 214–219.

References

1. Klubnichkin, V.E. Kratkij analiz tendencij razvitija lesozagotovitel'nyh mashin/ V.E. Klubnichkin, E.E. Klubnichkin, A.B. Kartashov // Trudy NGTU im. R.E. Alekseeva. – 2020. – № 3 (130). – S. 93–102.
2. Klubnichkin, V.E. Issledovanie nagruzhennosti konikovej ploshhadki lesozagotovitel'noj mashiny / V.E. Klubnichkin, E.E. Klubnichkin // Aktual'nye napravlenija nauchnyh issledovanij XXI veka: teorija i praktika. 2015. Т. 3. № 5-1 (16-1). S. 205-209.
3. Kotikov, V.M. Lesozagotovitel'nye i trelevochnye mashiny / V.M. Kotikov, N.S. Eremeev, A.V. Erhov. - M.: Lesnaja promyshlennost', 2004. - 336 s.
4. Klubnichkin, V.E. Sovremennoe programmnoe obespechenie dlja provedenija issledovanij po nagruzkam, ustojchivosti i prohodimosti mashin / V.E. Klubnichkin, E.E. Klubnichkin // Aktual'nye napravlenija nauchnyh issledovanij XXI veka: teorija i praktika. 2015. Т. 3. № 5-1 (16-1). S. 209–214.
5. Klubnichkin, V.E. Raschet na prochnost' konikov kolesnogo forvardera / V.E. Klubnichkin, A.B. Kartashov, A.F. Aljab'ev [i dr.] // Politematicheskij setevoy jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2020. – № 163. – S. 67-73. – DOI 10.21515/1990-4665-163-005.
6. Klubnichkin, E.E. Raschet konstrukcii tehnologicheskogo modulja pogruzochno-transportnoj mashiny / E.E. Klubnichkin, V.E. Klubnichkin, M.V. Fedotov [i dr.] // Politematicheskij setevoy jelektronnyj nauchnyj zhurnal Kubanskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2020. – № 164. – S. 141-153. – DOI 10.21515/1990-4665-164-010.
7. Klubnichkin, V.E. Razrabotka uzla sochlenenija lesnoj pogruzochno-transportnoj mashiny / V.E. Klubnichkin, E.E. Klubnichkin, A.Ju. Gorbunov, D.Ju. Druchinin // Lesotehnicheskij zhurnal. – 2020. – Т. 10. – № 4(40). – S. 217-226. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2020.4/18.

8. Klubnichkin, E.E. Issledovanie nagruzhennosti opory manipuljatora / E.E. Klubnichkin, V.E. Klubnichkin // Aktual'nye napravlenija nauchnyh issledovanij XXI veka: teorija i praktika. 2015. T. 3. № 5-1 (16-1). S. 214–219.