

УДК 629.1

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

**РАСЧЕТ КОНСТРУКЦИИ  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКОГО МОДУЛЯ  
ПОГРУЗОЧНО-ТРАНСПОРТНОЙ МАШИНЫ**

Клубничкин Евгений Евгеньевич  
к.т.н., доцент

Scopus Author ID: 57203352852

РИНЦ SPIN-код: 8158-0700

[kclubnichkin@mgul.ac.ru](mailto:kclubnichkin@mgul.ac.ru)

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

Клубничкин Владислав Евгеньевич  
к.т.н., доцент

Scopus Author ID: 57203352852

РИНЦ SPIN-код: 6060-7794

[vklubnichkin@mgul.ac.ru](mailto:vklubnichkin@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](mailto:fedotovmv@bmstu.ru)

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

Колесников Алексей Борисович  
Ведущий инженер

[kolesnikov.a.b@bmstu.ru](mailto:kolesnikov.a.b@bmstu.ru)

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

Козлов Иван Вячеславович  
Магистр

[kozloviv@student.bmstu.ru](mailto:kozloviv@student.bmstu.ru)

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

С каждым годом потребности лесной промышленности в новейшей лесозаготовительной технике возрастают. Требования к технологическому оборудованию и самой технике повышаются. Поэтому создание высокоэффективных машин, таких как форвардеры и харвестеры, продуктивно работающих в связке, можно считать актуальной задачей. Крайне важна разработка несущих систем и конструкций таких машин, с целью минимизировать количество используемых зарубежных комплектующих и сконцентрировать производство на территории

UDC– 629.1

05.21.01 - Technology and machines for logging and forestry (technical sciences)

**CALCULATION OF THE DESIGN OF THE  
TECHNOLOGICAL MODULE OF THE  
LOADING AND TRANSPORT MACHINE**

Klubnichkin Evgeny Evgenievich  
Cand.Tech.Sci., assistant professor

Scopus Author ID: 57203352852

RSCI SPIN-code: 8158-0700

[kclubnichkin@mgul.ac.ru](mailto:kclubnichkin@mgul.ac.ru)

*Mytishchi branch Bauman Moscow State Technical  
University, Russia, 141005, Mytishchi, 1-ya  
Institutskaya, 1*

Klubnichkin Vladislav Evgenievich  
Cand.Tech.Sci., assistant professor

Scopus Author ID: 57203352852

RSCI SPIN-code: 6060-7794

[vklubnichkin@mgul.ac.ru](mailto:vklubnichkin@mgul.ac.ru)

*Mytishchi branch Bauman Moscow State Technical  
University, Russia, 141005, Mytishchi, 1-ya  
Institutskaya, 1*

Fedotov Mikhail Vladimirovich  
Lead Engineer

[fedotovmv@bmstu.ru](mailto:fedotovmv@bmstu.ru)

*Bauman Moscow State Technical University, Russia,  
105005, Moscow, 2-ya Baumanskaya ul., 5*

Kolesnikov Alexey Borisovich  
Lead Engineer

[kolesnikov.a.b@bmstu.ru](mailto:kolesnikov.a.b@bmstu.ru)

*Bauman Moscow State Technical University, Russia,  
105005, Moscow, 2-ya Baumanskaya ul., 5*

Kozlov Ivan Vyacheslavovich  
Master

[kozloviv@student.bmstu.ru](mailto:kozloviv@student.bmstu.ru)

*Mytishchi branch Bauman Moscow State Technical  
University, Russia, 141005, Mytishchi, 1-ya  
Institutskaya, 1*

Every year the demand of the forestry industry for the latest forestry equipment is increasing. Requirements for technological equipment and technology itself are expanding. Therefore, the creation of highly efficient machines, such as forwarders and harvesters, working productively in conjunction, can be considered an urgent task. It is extremely important to develop supporting systems and structures of such machines in order to minimize the number of foreign components and concentrate production on the territory of one given country. When designing a forwarder, the main element is the loading platform, since the

одной страны. При проектировании форвардера, основным элементом является грузовая платформа, так как от нее напрямую зависят характеристики машины, на которые в первую очередь обратят свое внимание лесозаготовительные предприятия. Конструкция рамы и коников напрямую влияет на грузоподъемность машины, удобство погрузки, выбор силовых и погрузочных установок, а также безопасность рабочего персонала. В данной статье рассмотрена конструкция и прочностной расчет грузовой платформы форвардера. Расчет подобных конструкций с помощью прикладных пакетов программ САПР позволяет уменьшить количество реальных доработок с использованием дорогостоящего измерительного оборудования и множеством опытных образцов, за счет виртуального моделирования

Ключевые слова: ГРУЗОВАЯ ПЛАТФОРМА, КОНИК, МЕТОД КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, НАПРЯЖЕННО-ДЕФОРМИРОВАННОЕ СОСТОЯНИЕ

characteristics of the machine directly depend on it, to which logging companies will first of all pay attention. The design of the frame and bunkers directly affects the lifting capacity of the machine, ease of loading, the choice of power and loading units, as well as the safety of workers. This article discusses the design and strength calculation of the forwarder loading platform. Calculation of such structures using CAD software packages allows you to reduce the number of real improvements using expensive measuring equipment and many prototypes, due to virtual modeling

Keywords: LOADING PLATFORM, KONIK, FINITE ELEMENT METHOD, STRESS-DEFORMED STATE

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-164-010>

## **Введение**

Сортиментная заготовка леса подразумевает использование таких машин как форвардеры. Форвардер – шарнирно сочлененная машина, оборудованная грузовой платформой, расположенной, как правило, на задней полураме трактора [1]. Такая платформа представляет собой пространство, ограниченное стойками – кониками и, в некоторых случаях, торцевой решеткой ограждения со стороны шарнирного узла.

Размерами такого грузового отсека определяется объем лесоматериалов, который способен стреловать форвардер за один рейс, а также, какой тип сортиментов он способен перевозить.

При трелевке древесины загруженность форвардера может изменяться в пределах 30-40% от общей грузоподъемности. А разный тип сортиментов может смещать центр тяжести относительно поперечной оси [2].

При проведении анализа грузовых отсеков существующих образцов лесовозной техники, таких производителей как JohnDeere, Komatsu, Ponsse,

<http://ej.kubagro.ru/2020/10/pdf/10.pdf>

Tigercat мы пришли к выводу, что конструкция должна включать в себя раздвижные стойки коников и защитный экран.

### **1. Выбор и обоснование конструкции несущей системы**

Несущая система – основная силовая конструкция предназначенная для размещения силового агрегата, трансмиссии, рулевого управления, кабины оператора с органами управления, навесного технологического оборудования, наружного обвеса, прочего оборудования и обеспечения передвижения эксплуатируемой погрузочно-транспортной машины в районах с умеренным климатом У категории 1 по ГОСТ 15150 при температуре окружающего воздуха от - 40 до +40 °С [3].

В соответствии с требованиями Технического задания разрабатываемая несущая система ПТрМ состоит из переднего модуля, узла сочленения и заднего модуля.

Шарнирно сочлененная рама с двухступенным шарниром в сочетании с балансирной подвеской, по крайней мере, колес одной секции гарантирует полное использование сцепной массы ПТрМ и исключает вывешивание или разгрузку одного из колес при преодолении неровностей пути, что улучшает проходимость ПТрМ, так как нагрузка на колеса будет практически постоянной.

Передняя часть несущей системы представляет из себя цельную сварную конструкцию. Передняя часть рамы имеет места для крепления моста, силовой установки, кабины и прочих элементов. В передней части располагается опора горизонтальной оси узла сочленения.

Задняя часть несущей системы представляет собой цельную сварную конструкцию, состоящую из листов различной конфигурации и толщины, материал – сталь 09Г2С, 10 ХСНД или металл с подобными физико-механическими свойствами. В заднюю полураму вварена опора под установку манипулятора, сварной конструкции, из толстолистового

проката, материал - сталь марок, обладающих хорошей свариваемостью с материалом рамы.

На раме присутствуют места под крепление моста, коников, решетки, гидроцилиндров поворота рам, элементов наружного обвеса и систем ПТрМ.

В раме вварены узлы установки мостов, коробчатой формы, выполненной из толстолистового проката, материал – сталь тех же марок, обладающая хорошей свариваемостью с материалом рамы. Размеры балок и узлов установки мостов обеспечивают требуемую жесткость, прочность и долговечность, с учетом рабочих нагрузок при выполнении технологических операций по назначению машины (погрузка, транспортировка и разгрузка сортиментов).

Передняя и задняя часть несущей системы ПТрМ соединены узлом сочленения. Горизонтальная ось вращения узла сочленения может крепиться как к задней, так и к передней части рамы.

В ходе проработки был выбран вариант с расположением горизонтальной оси вращения узла сочленения на передней части. Такая компоновка позволяет добиться лучшей развесовки и облегчить компоновку узлов и агрегатов на несущей системе.

Узел сочленения и размеры рамы обеспечивают угол складывания, и, как следствие, маневренность, позволяющую погрузочно-транспортная машине уверенно маневрировать по лесосеке, перемещаться по лесным дорогам, лесовозным усам, дорогам общего пользования. Узел сочленения сварной конструкции, работающий при воздействии внешних нагрузок при выполнении технологических операций погрузочно-транспортной машиной.

Общий вид разрабатываемого узла сочленения представлен на рисунке 1, узел выполнен с внешним расположением гидроцилиндров.

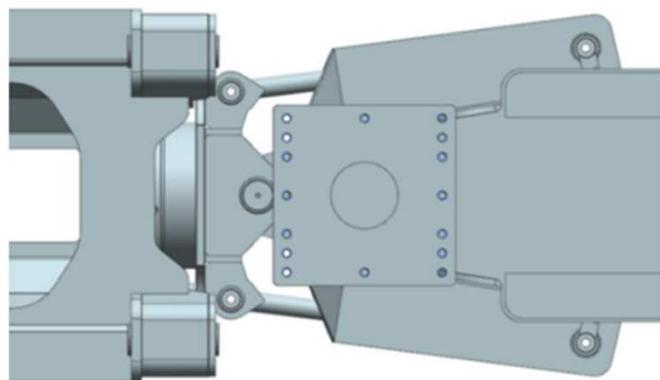


Рисунок 1 – Узел сочленения ПТрМ (вид сверху)

Эта схема позволяет несущей системе складываться на угол до 45 градусов без значительного разнесения гидроцилиндров в боковом направлении относительно рамы.

Конструкция узла сочленения состоит из следующих элементов:

- вертикальной оси складываний;
- горизонтальной оси вращения;
- проушин крепления цилиндров поворота;
- проушин крепления гидроцилиндров блокировки рамы;
- ограничителей поворота.

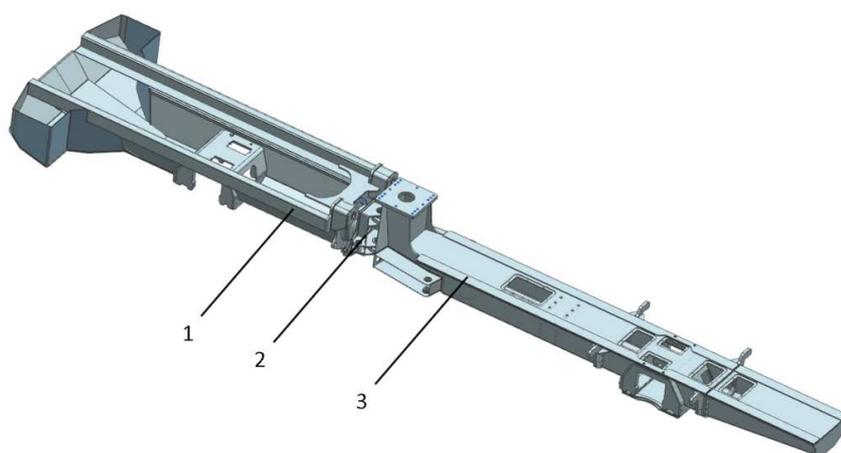
Вертикальная ось узла складывания образуется парой конических подшипников сверху и сферическим шарнирным подшипником снизу. Горизонтальная ось представляет собой цилиндрическую поверхность, к торцу которой прикручивается подшипник.

Полурамы свободно вращаются вокруг продольной оси машины на угол  $\pm 15^\circ$ , определяемый исходя из условия устойчивости и проходимости погрузочно-транспортной машины. Ограничивается угол механическими упорами шарнира. На передней полураме располагаются управляемые гидроцилиндры блокировки вращения полурам относительно друг друга вокруг продольной оси.

Через узел сочленения проходят элементы гидравлики и электрики. Через центральное отверстие узла сочленения проходит карданная передача привода заднего моста.

Поворот погрузочно-транспортной машины производится складыванием полурам, двумя гидроцилиндрами поворота. Ограничение поворота без силового замыкания на детали полурам.

Принятая для дальнейшей разработки конструкция представлена на рисунке 2.



*1 – рама передняя; 2 – узел сочленения; 3 – рама задняя*

Рисунок 2– Несущая система ПТрМ

## **2. Расчет на прочность рамы грузовой платформы**

Для предварительной оценки напряженно-деформированного состояния рамы грузовой платформы используется метод конечных элементов [4, 5]. Исходная твердотельная 3D-модель технологического модуля ПТрМ представлена на рисунке .

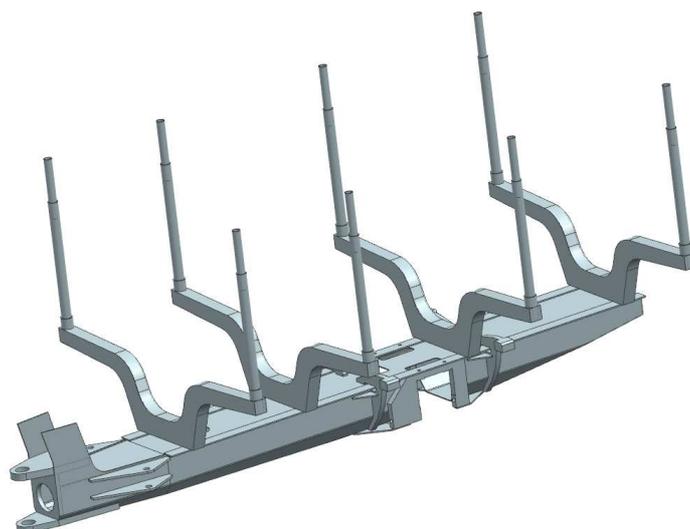


Рисунок 3 – 3D-модель технологического модуля ПТрМ

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, $\mu$ ,	Предел текучести, $\sigma_T$ , МПа	Предел прочности, $\sigma_B$ , МПа	Удлинение при разрыве, d5, %
200000	0,3	390	530	19

### 3. Описание конечно-элементной модели

Конечно-элементная модель рамы представлена на рисунке 4.

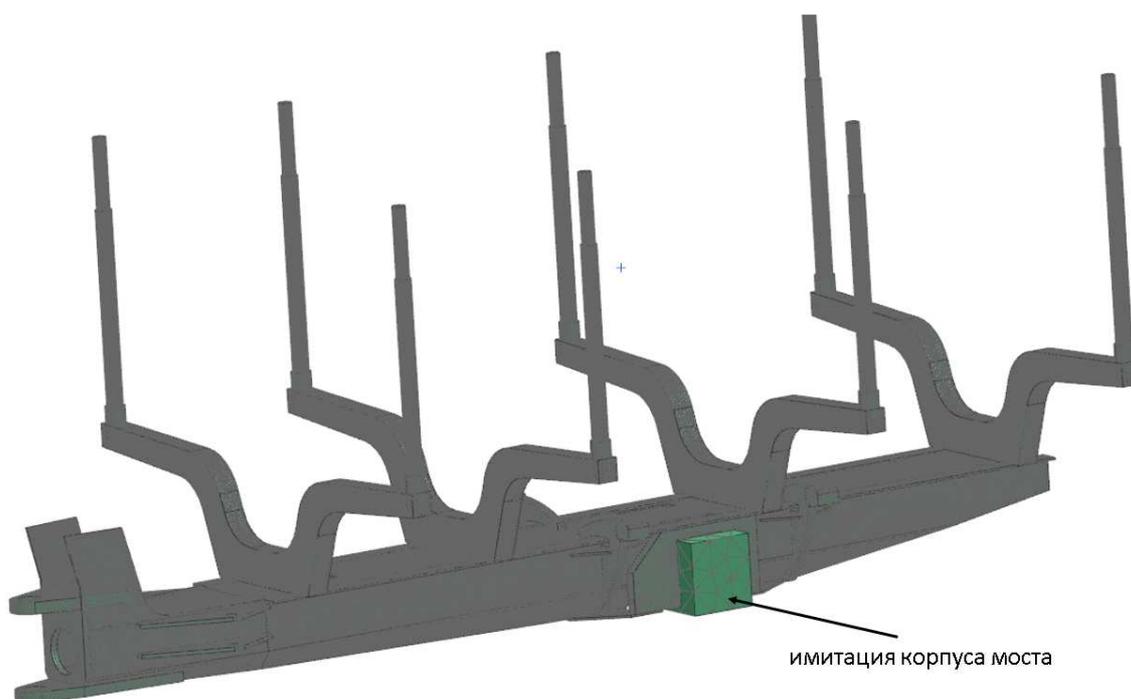


Рисунок 4 – Конечно-элементная модель рамы

В таблице 2 представлена характеристика конечно-элементной модели.

Таблица 2– Характеристика КЭМ

№	Параметр	Величина
1	Тип конечного элемента	TETRA10
2	Количество конечных элементов	613244
3	Средний размер конечного элемента	20 м

#### 4. Нагрузки и граничные условия в расчете

При расчёте рамы на прочность в качестве вариантов нагружения приняты следующие расчетные случаи:

1. Нагрузка, соответствующая максимальной загрузке ПТрМ с коэффициентом динамичности  $k = 3$ ;
2. Нагрузка, соответствующая максимальной загрузке ПТрМ с имитацией вывешивания на передних отбойниках;
3. Нагрузка, соответствующая максимальной загрузке ПТрМ с имитацией вывешивания на задних отбойниках.

При моделировании нагружения используются элементы RBE 3, соединяющие точку центра тяжести груза с поверхностью коников. Моделирование нагрузки представлено на рисунке 5.

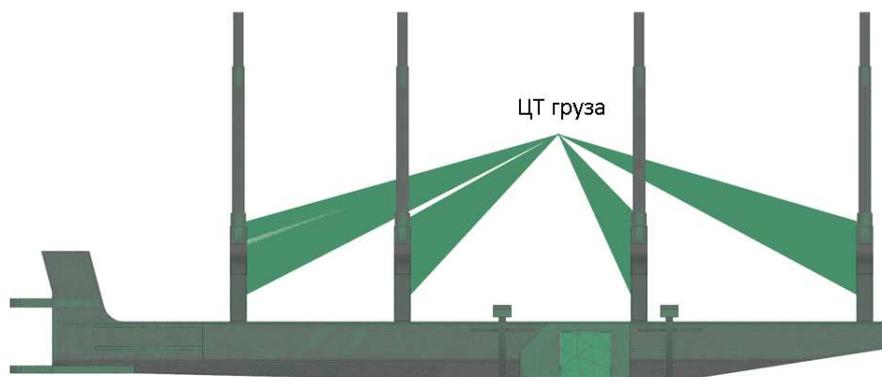
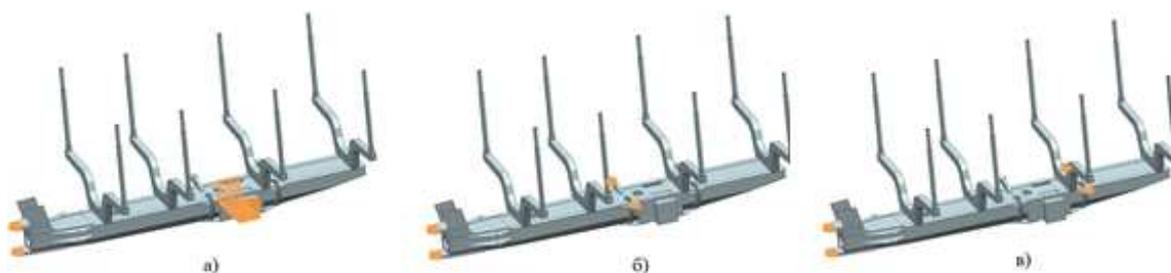


Рисунок 5 – Моделирование нагрузки

Для закрепления модели используются проушины в передней части рамы, а также корпус моста или отбойники, в зависимости от режима нагружения. Моделирования закрепления представлены на рисунке 6.



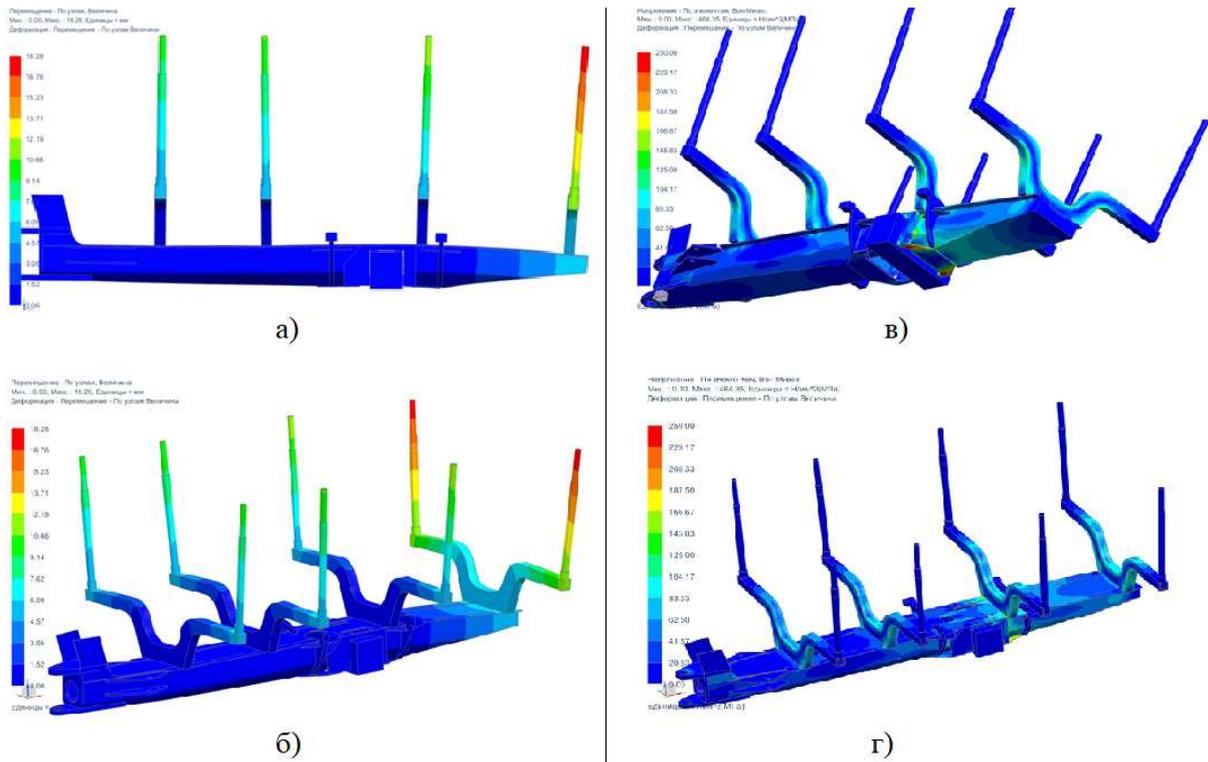
*а – №1; б – №2; в – №3*

Рисунок 6 – Закрепления расчетных случаев

## 5. Результаты расчета

Результаты расчета нагрузочного режима №1 представлены на рисунке 7.

Максимальные перемещения составили 18 мм в зоне заднего свеса (рисунок 7 (а, б)). Максимальные напряжения составили 420 МПа в зоне крепления моста (рисунок 7 (в, г)).

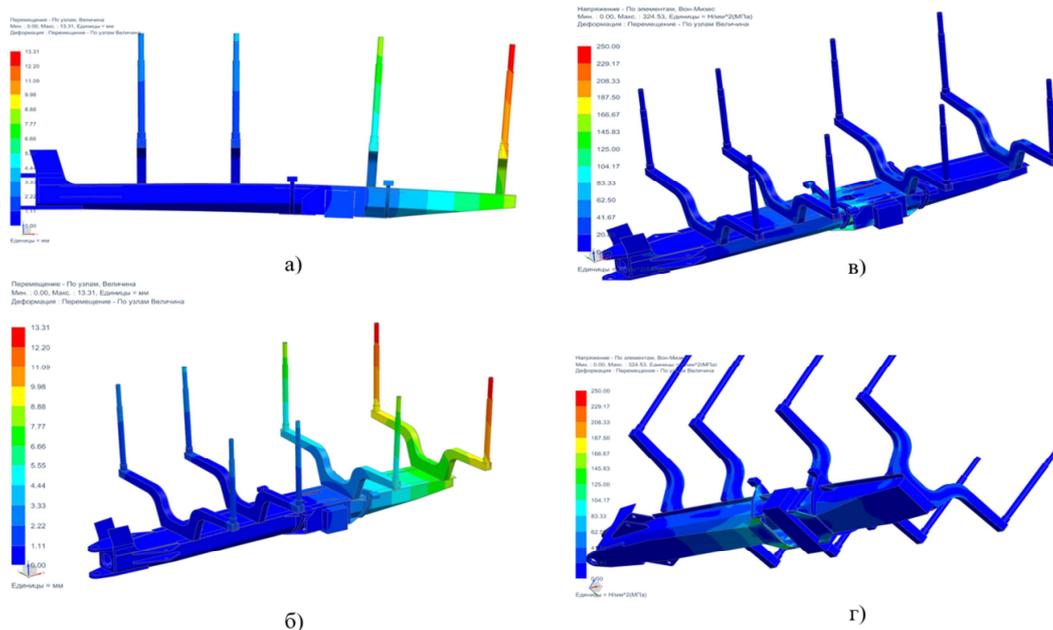


*а, б – Перемещения (масштаб 20:1); в, г – Эквивалентные напряжения*

**Рисунок 7 – Результаты нагрузочного режима №1**

Результаты расчета нагрузочного режима №2 представлены на рисунке 8.

Максимальные перемещения составили 13 мм в зоне заднего свеса (рисунок 8 (а, б)). Максимальные напряжения составили 320 МПа в зоне переднего отбойника (рисунок 8 (в, г)).

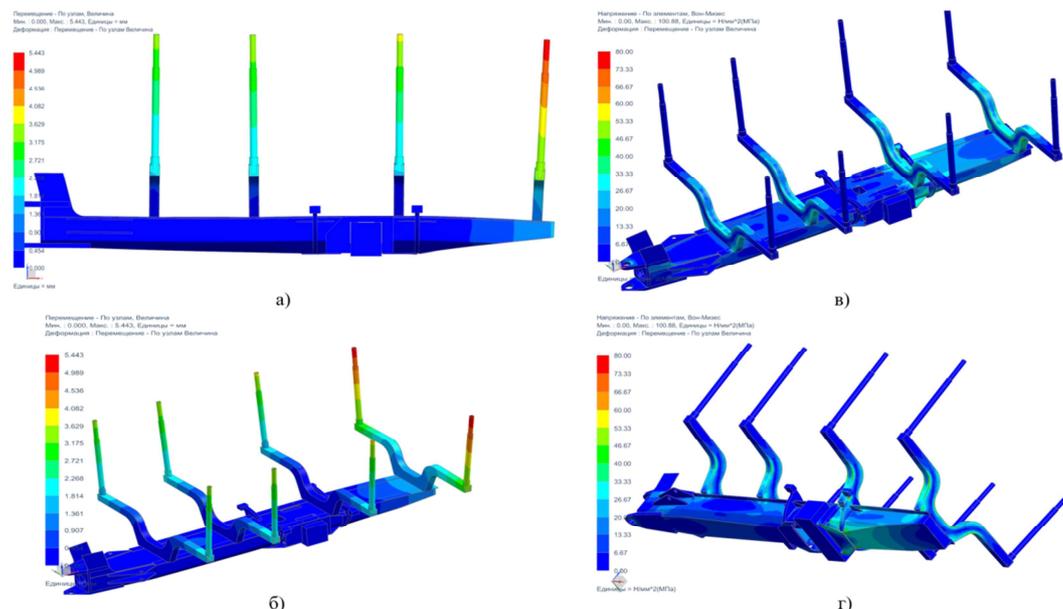


*а, б – перемещения (масштаб 20:1); в, г – эквивалентные напряжения*

**Рисунок 8 – Результаты нагрузочного режима №2**

Результаты расчета нагрузочного режима №3 представлены на рисунке 9.

Максимальные перемещения составили 5,5 мм в зоне заднего свеса (рисунок 9 (а, б)). Максимальные напряжения составили 100 МПа в зоне заднего отбойника (рисунок 9 (в, г)).



*а, б – перемещения (масштаб 20:1); в, г – эквивалентные напряжения*

**Рисунок 9 – Результаты нагрузочного режима №3**

В таблице 3 приведены результаты расчета рамы для всех расчетных случаев.

Таблица 3 – Результаты расчета

№ расчетного случая	Эквивалентные напряжения, МПа	Допускаемые напряжения, $\sigma_T$ , МПа	Коэффициент запаса
1	460	530	1,15
2	320		1,66
2	100		5,3

### Выводы

Рама грузовой платформы выдерживает заданные нагрузки с необходимым запасом. Для снижения напряжений в узле установки моста будут установлены дополнительные ребра жесткости, усилитель косынки. А также будут проработаны элементы отбойников, на которые опирается мост при вывешивании для более равномерного распределения напряжений.

**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, 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, E.E. Issledovanie nagruzhennosti opory manipuljatora / E.E. Klubnichkin, V.E. Klubnichkin // Aktual'nye napravlenija nauchnyh issledovanij XXI veka: teorija i praktika. 2015. Т. 3. № 5-1 (16-1). S. 214–219.