

УДК 631.372

05.20.01 Технологии и средства механизации сельского хозяйства (технические науки)

АНАЛИЗ АДЕКВАТНОСТИ РАСЧЕТНОЙ МОДЕЛИ РАМЫ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ПРИВОДА ЗЕРНУБОРОЧНОЙ МАШИНЫ

Каплюхин Антон Эдуардович
аспирант
e-mail: kaplyuhin@gmail.com

Бледнова Жесфина Михайловна
д.т.н., профессор
e-mail: blednova@mail.ru
ФГБОУ ВО «Кубанский государственный технологический университет», Краснодар, Россия

При разработке несущих механизмов сельскохозяйственной техники, а в частности альтернативных почвощадящих приводов машин, разработчикам необходимо учитывать множество силовых факторов, которые явно или не явно будут воздействовать на конструкцию в процессе эксплуатации машины. Для того, чтобы минимизировать риски выхода устройства из строя после производства первых образцов, необходимо еще на стадии проектирования его несущих элементов провести качественный расчет прочности и жесткости элементов конструкции. Наиболее нагруженной и ответственной деталью в таких устройствах является его рама. Но также рама является наиболее объемной и трудно изготавливаемой частью устройства, поэтому предварительную валидацию схемы нагружения и анализа его результатов оптимально проводить на виртуальных моделях рамы. Данная работа представляет собой анализ адекватности схемы нагружения рамы альтернативного почвощадящего привода сельскохозяйственных машин путем сравнения результатов виртуального нагружения в различных программных пакетах САПР, методом конечных элементов. В результате был дан вывод о допустимости применения предложенной схемы нагружения, были даны рекомендации по дальнейшему уточнению геометрических параметров рамы и материалу рамы

Ключевые слова: СМЕННЫЙ ГУСЕНИЧНЫЙ МОДУЛЬ, РАМА, МЕТОД КОНЕЧНЫХ ЭЛЕМЕНТОВ, АДЕКВАТНОСТЬ РАСЧЕТНОЙ СХЕМЫ

DOI: <http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-171-005>

UDC 631.372

05.20.01 Technologies and means of mechanization of agriculture (technical sciences)

ADEQUACY ANALYSIS OF A CALCULATION MODEL OF THE FRAME OF THE ALTERNATIVE DRIVE OF A GRAIN HARVESTER

Kaplyuhin Anton Eduardovich
graduate student
e-mail: kaplyuhin@gmail.com

Blednova Zhesfina Mihajlovna
Doctor of Technical Sciences, Professor
e-mail: blednova@mail.ru
Kuban State Technological University, Krasnodar, Russia

During the development of the supporting mechanisms of agricultural machinery, and in particular of alternative soil-sparing drives for machines, developers need to take into account many force factors that will explicitly or implicitly affect the structure during the operation of the machine. In order to minimize the risks of failure of the device after the production of the first samples, it is necessary to carry out a qualitative calculation of the strength and stiffness of the structural elements at the design stage of its load-bearing elements. The most loaded and critical part in such devices is its frame. But the frame is also the most voluminous and difficult to manufacture part of the device, therefore, it is optimal to carry out preliminary validation of the loading scheme and analysis of its results on virtual models of the frame. This work is an analysis of the adequacy of the loading scheme of the frame of an alternative soil-sparing drive of agricultural machines by comparing the results of virtual loading in various CAD software packages using the finite element method. As a result, a conclusion was made about the admissibility of using the proposed loading scheme, recommendations were given for further clarification of the geometric parameters of the frame and the frame material

Keywords: REPLACEABLE TRACK UNIT, FRAME, FINITE ELEMENT METHOD, DESIGN CALCULATION ADEQUACY

Введение.

При проектировании несущей рамы альтернативного почвощающего привода возник вопрос о его несущей способности как при статической нагрузке, так и при динамической. Т.к. к несущим элементам шасси машин предъявляется большее внимание в силу степени влияния выхода из строя механизма на жизнь и здоровье людей, стало очевидно, что требуется дополнительно исследовать раму на предмет жесткости и надежности её конструкции при статическом нагружении. Нормальной практикой исследования несущих элементов машин является схема их нагружения, при которой на детали будет действовать сила, трехкратно превышающая нормальную или паспортную несущую способность всей оси транспортного средства. Это условие стало исходным при анализе напряженного состояния рамы устройства. Однако в ходе этого исследования эпюры напряженного состояния рамы разнились в зависимости от конкретного пакетного продукта, в котором производился расчет. [1]

В современных пакетах прикладных САПР такой инструмент как анализ напряженного состояния модели методом конечных элементов применяется все чаще как стандартное решение. Однако в разных системах проектирования алгоритм расчета конечно-элементной модели различается, тем самым приводя конструктора или проектировщика к различным результатам, порой не отвечающим реальному напряженному состоянию детали.

Целью данной работы является проверка адекватности схемы нагружения рамы механизма путем сравнения результатов анализа напряженного состояния разными САПР. Здесь и далее, все расчеты будут вестись в ознакомительных версиях программных продуктов ANSYS, SolidWorks, Inventor, КОМПАС 3D. [3-4]

Исходные данные для анализа

В качестве модели для анализа во всех расчетных случаях будет выступать модель рамы альтернативного почвощающего привода сельскохозяйственных машин, изображенная на рисунке 1.

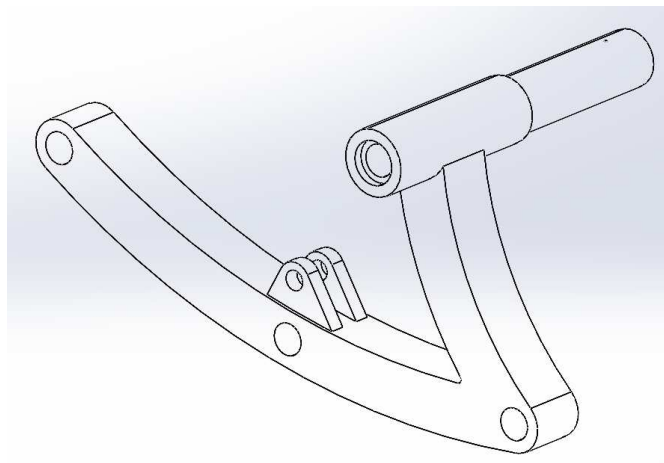


Рисунок 1 – Общий вид рамы устройства.

Сам же привод располагается на задней оси машины и соединяется с опорной ступицей моста при помощи винтового соединения с цилиндрической частью выше указанной рамы. Для симуляции такого винтового соединения, в качестве ограничения будут выступать резьбовые отверстия на цилиндрической части рамы, рисунок 2.

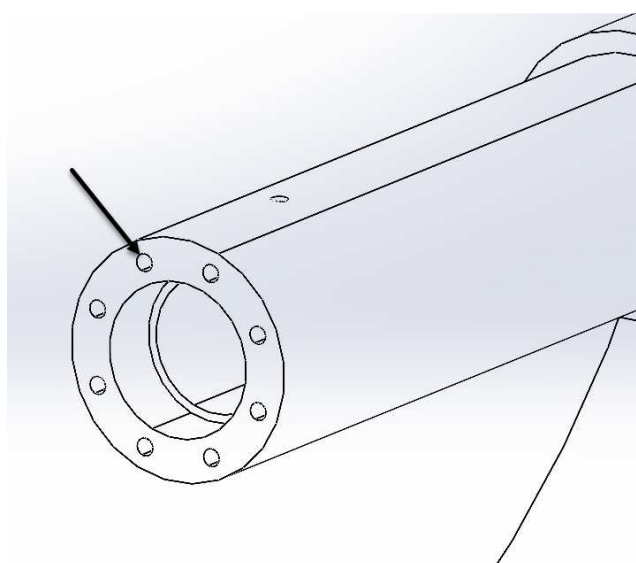


Рисунок 2 – Конструктивные элементы, выступающие в качестве ограничительной геометрии.

Потребная несущая способность задней оси машины для расчета составляет 7 000 кг, соответственно на один гусеничный модуль будет приходиться порядка 3 000 кг. Однако, учитывая условие трехкратного нагружения ответственных деталей шасси машин, усилие на раму составит порядка 9 000 кг или 90 кН. Основываясь на предыдущих исследованиях, примем, что распределение нагрузки относительно осей опорных колес механизма (расположены в нижней «рессорной» части рамы) будет в процентном соотношении 58/29/13. Таким образом вертикальная нагрузка на опорную ось передних катков составит порядка $F1 = 52,2$ кН, на опорную ось средней пары катков порядка $F2 = 26,1$ кН и на опорную ось задней пары катков порядка $F3 = 11,7$ кН. Эти усилия ориентируются вертикально относительно продольного положения рессорной части рамы, схематично их можно изобразить как на рисунке 3.

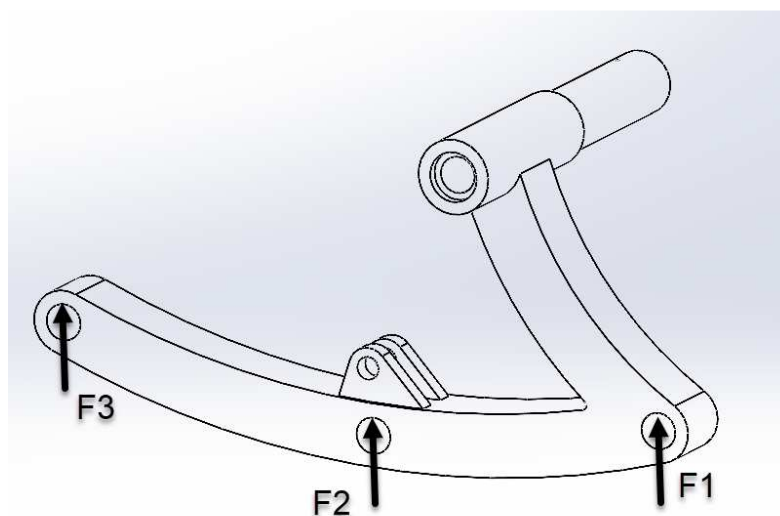


Рисунок 3 – Схема нагружения рамы механизма.

Еще одним условием при анализе напряженного состояния являются параметры исходного материала модели и параметры конечно-элементной сетки (её размер и структура). В качестве материала необходимо выбрать такой, характеристики которого оставались бы постоянными от САПРа к САПРу. Поэтому для анализа напряженного состояния была выбрана

конструкционная сталь обыкновенного качества со следующими свойствами, рисунок 4.

Свойство	Значение	Единицы измерения
Модуль упругости	210000.0031	Н/мм ²
Коэффициент Пуассона	0.28	Не применимо
Модуль сдвига	79000	Н/мм ²
Массовая плотность	7800	кг/м ³
Предел прочности при растяжении	450	Н/мм ²
Предел прочности при сжатии		Н/мм ²
Предел текучести	275	Н/мм ²
Коэффициент теплового расширения	1.1e-05	/К
Теплопроводность	14	W/(м·К)
Удельная теплоемкость	440	J/(кг·К)
Коэффициент демпфирования материала		Не применимо

Рисунок 4 – Механические характеристики применяемого материала.

Параметры же конечно-элементной сетки могут в процессе расчетов различаться, т.к. модули анализа напряженного состояния используют разные стратегии при расчетах. Однако постоянной остается величина максимальной длины ребра тетраэдра конечно-элементной сетки и её построение основывается на смешанной кривизне, что позволит избежать ошибок при просчете геометрически мелких элементов конструкции рамы.

Результаты анализа

Далее в работе будут приведены изображения результатов исследований в различных пакетах программ. На рисунке 5, слева изображена эпюра распределения напряжения и его максимальное значение, судя по эпюре можно заключить, что глобально работает только цилиндрическая часть рамы, рессорная же часть воспринимает нагрузку без значительного увеличения напряжения. Что подтверждает также эпюра перемещения точек тела рамы, изображенная справа. Данный результат будет повторяться в ходе исследования, с незначительными изменениями.

Для удобства анализа результатов исследования напряженного состояния данные максимального напряжения по Мизесу, а также максимальные перемещения были сведены в таблицу 1.

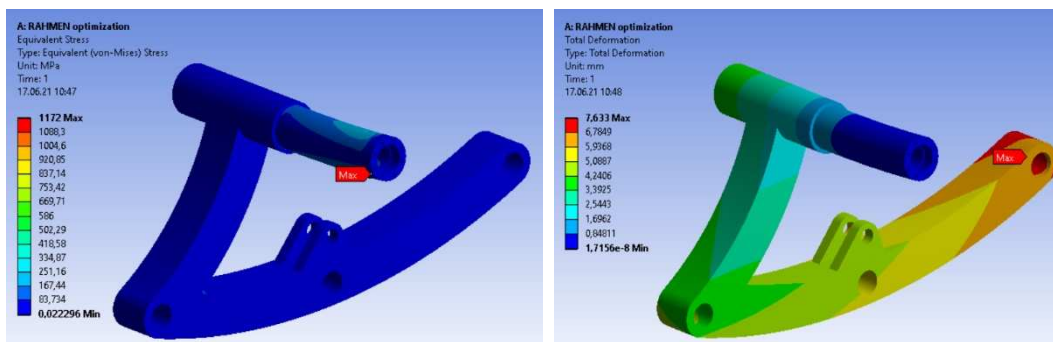


Рисунок 5 – Эпюры напряжения и глобального перемещения в пакете ANSYS.

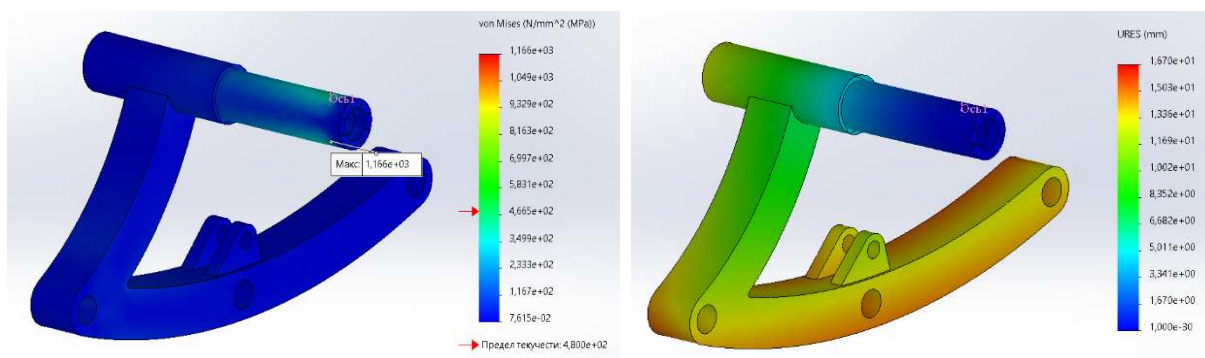


Рисунок 6 – Эпюры напряжения и глобального перемещения в пакете SolidWorks.

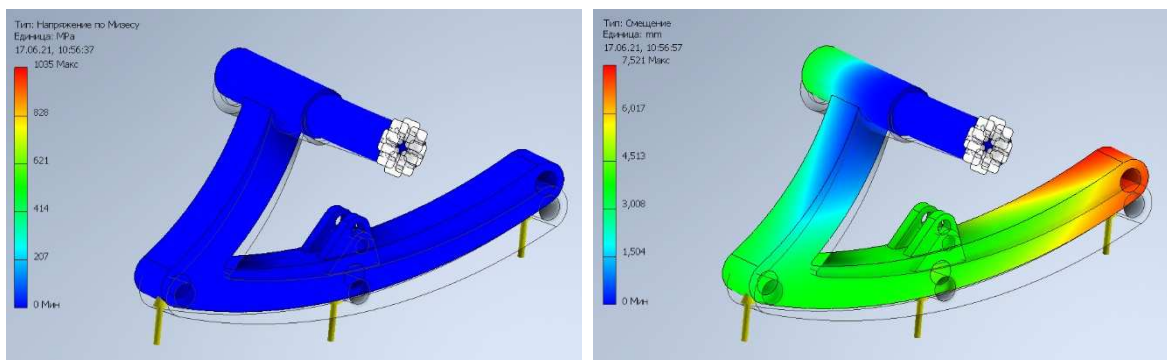


Рисунок 7 – Эпюры напряжения и глобального перемещения в пакете Inventor.

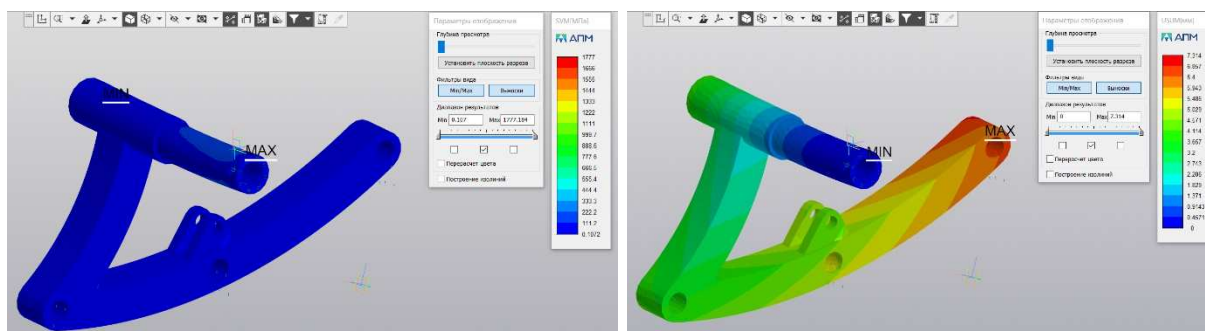


Рисунок 8 – Эпюры напряжения и глобального перемещения в пакете KOMPAS-3D.

Таблица 1 – Сводная результатов прочностного анализа рамы.

	ANSYS	SolidWorks	Inventor	KOMPAS-3D
Максимальное эквивалентное напряжение по Мизесу, МПа	1172	1166	1035	1777
Максимальное глобальное перемещение точек модели рамы, мм	7,63	16,7	7,5	7,314

Из таблицы результатов становится видно, что значения максимального напряжения различаются, но остаются в пятипроцентной зоне погрешности вычисления, за исключением четвертого результата анализа в пакете KOMPAS-3D. Также значения величины максимального перемещения точек модели соотносятся, кроме второго результата анализа в пакете SolidWorks. Из этого стоит сделать вывод, что предложенная расчетная схема напряженного состояния рамы альтернативного почвоощащающего привода позволяет с достаточной для анализа точностью оценить максимальные возникающие эквивалентные напряжения в модели рамы, а также максимальные перемещения её точек. Также необходимо заключить, что исходный материал сталь конструкционная обыкновенного качества не сможет обеспечить работоспособность реальной конструкции, т.к. предел её текучести составляет порядка 355 МПа и в дальнейшем необходимо предложить альтернативный материал либо изменять геометрию рамы для удовлетворения требования прочности и жесткости рамы.

Вывод

В ходе исследования была предложена расчетная схема рамы альтернативного почвоощащающего привода. По результатам виртуальных испытаний в различных пакетах прикладных расчетных программ, был сделан вывод о порядках точности применения расчётной схемы.

Разница между расчётами максимального эквивалентного напряжения и глобального перемещения точек модели составила порядка 5-8%, однако

данный показатель не может быть адекватным, из-за того, что не было проведено экспериментальной части исследования, подтверждающей результаты расчета математической модели.

Вторичным результатом исследования стало заключение о неработоспособности рамы с текущими характеристиками исходного материала и геометрии её конструктивных элементов. Рекомендуется провести дополнительные исследования НДС рамы механизма с применением в качестве материала модели конструкционной высокопрочной высоколегированной стали Н12К8М4Г2. Также для увеличения жесткости цилиндрической части рамы необходимо увеличить площадь сечения её наиболее нагруженного участка.

Список литературы

1. ГОСТ Р 41.79-99 (Правила ЕЭК ООН N 79) Единообразные предписания, касающиеся официального утверждения транспортных средств в отношении механизмов рулевого управления.
2. Применение системы ANSYS к решению задач механики сплошной среды : практическое руководство / Федеральное агентство по образованию, Нижегородский гос. ун-т им. Н. И. Лобачевского; [А. К. Любимов (отв. ред.) и др.]. – Нижний Новгород : Изд-во Нижегородского госуниверситета, 2006. – 227 с. – ISBN 5857469287.
3. Алямовский, А. А. COSMOSWorks. Основы расчета конструкций на прочность в среде SolidWorks. Учебное пособие / А. А. Алямовский. – Москва : ДМК Пресс, 2010. – 784 с. – ISBN 9785940745822.
4. Денисов, М. А. Компьютерное проектирование. КОМПАС-3D / М. А. Денисов ; Министерство образования и науки РФ, Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина. – Екатеринбург : Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего профессионального образования Уральский федеральный университет им. первого Президента России Б.Н. Ельцина, 2014. – 76 с. – ISBN 9785799611279.

References

1. GOST R 41.79-99 (Pravila EJeK OON N 79) Edinoobraznye predpisanija, kasajushhiesja oficial'nogo utverzhdenija transportnyh sredstv v otnoshenii mehanizmov rulevogo upravlenija.
2. Primenenie sistemy ANSYS k resheniju zadach mehaniki sploshnoj sredy : prakticheskoe rukovodstvo / Federal'noe agentstvo po obrazovaniju, Nizhegorodskij gos. un-t im. N. I. Lobachevskogo; [A. K. Ljubimov (otv. red.) i dr.]. – Nizhnij Novgorod : Izd-vo Nizhegorodskogo gosuniversiteta, 2006. – 227 s. – ISBN 5857469287.

3. Aljamovskij, A. A. COSMOSWorks. Osnovy rascheta konstrukcij na prochnost' v srede SolidWorks. Uchebnoe posobie / A. A. Aljamovskij. – Moskva : DMK Press, 2010. – 784 s. – ISBN 9785940745822.

4. Denisov, M. A. Komp'juternoe proektirovanie. KOMPAS-3D / M. A. Denisov ; Ministerstvo obrazovanija i nauki RF, Ural'skij federal'nyj universitet im. pervogo Prezidenta Rossii B.N. El'cina. – Ekaterinburg : Federal'noe gosudarstvennoe avtonomnoe obrazovatel'noe uchrezhdenie vysshego professional'nogo obrazovanija Ural'skij federal'nyj universitet im. pervogo Prezidenta Rossii B.N. El'cina, 2014. – 76 s. – ISBN 9785799611279.