

РАЗРАБОТКА ФРОНТАЛЬНОГО ПОГРУЗЧИКА ДЛЯ ТРАКТОРА ТИПА МТЗ С ПОМОЩЬЮ 3D-МОДЕЛИРОВАНИЯ

DEVELOPMENT OF A FRONT-END LOADER FOR AN MTZ TRACTOR USING 3D-MODELING

В.П. ДМИТRENKO, К.Т.Н.

Р.Д. АДАКИН

И.М. СОЦКАЯ, К.Т.Н.

А.А. ХОТЬКО

ФГБОУ ВО Ярославская ГСХА, Ярославль, Россия,
rdadakin@gmail.com

V.P. DMITRENKO, PhD in Engineering

R.D. ADAKIN

I.M. SOCKAYA, PhD in Engineering

A.A. HOT'KO

Yaroslavl State Agrarian University, Yaroslavl, Russia,
rdadakin@gmail.com

В работе рассмотрены вопросы проектирования фронтального погрузчика с помощью трехмерного моделирования с последующим его изготовлением. Область использования фронтального погрузчика – это индивидуальные фермерские хозяйства с небольшой, но регулярной потребностью в объемах перевозимых грузов. Существующие погрузчики имеют большую производительность и, соответственно, высокую стоимость, что не подходит для индивидуальных хозяйств. Была поставлена задача спроектировать простой и надежный фронтальный погрузчик, который может агрегатироваться с трактором типа МТЗ. Погрузчик должен иметь максимальную грузоподъемность в 1000 кг с коэффициентом запаса прочности 2...2,5. Погрузчик фронтальный был спроектирован и изготовлен. Проектирование выполнялось в трехмерной САПР-программе SolidWorks, расчет на предельную нагрузку производился методом конечных элементов. В ходе расчетов были определены оптимальные геометрические параметры деталей погрузчика, способные выдержать заданную нагрузку с минимальными напряжениями. Была выполнена и проверена кинематика узлов и деталей позволяющая конструкции выполнять свой функционал правильно, по заданной траектории. Фронтальный погрузчик был изготовлен на базе индивидуального фермерского хозяйства. Для производства данного погрузчика использовали доступные материалы: швеллер, труба, уголки, цельный металл толщиной 40 мм и стандартные изделия – гидроцилиндры и шланги высокого давления. Испытания на погрузке бревен показали, что устройство надежное, с хорошей производительностью. Нареканий и замечаний по работе погрузчика отмечено не было. Определены мероприятия по совершенствованию погрузчика: это разработка поворотного узла вертикальной стойки, усиление оси крепления стрелы, разработка упоров трактора. Их внедрение позволит более мобильно работать с грузом свыше 1000 кг.

Ключевые слова: фронтальный погрузчик, численный расчет, грейфер леса, агрегатирование с трактором МТЗ, 3D-моделирование.

The paper deals with the design of a front loader using three-dimensional modeling, and its manufacturing. The area of use of the front loader is individual farms with a small but regular need for the volume of transported goods. The existing loaders have greater productivity and correspondingly high cost, which is not suitable for individual farms. The task is to design a simple and reliable front loader that can be aggregated with an MTZ tractor. The loader must have a maximum load capacity of 1000 kg with a safety factor of 2...2.5. The front loader was designed and manufactured. The design was carried out in a three-dimensional CAD software SolidWorks, the calculation of the maximum load was made by the finite element method. During calculations, the optimal geometrical parameters of the loader parts, capable of withstanding a given load with minimum stresses, were determined. The kinematics of assemblies and parts were made and tested allowing the structure to perform its functionality correctly along a given trajectory. The front loader was made on the basis of an individual farm. The available materials for the production of this loader were: channel, pipe, angle bars, 40 mm thick solid metal and standard units – hydraulic cylinders and high pressure hoses. Tests for loading logs have shown that the device is reliable and has good performance. No complaints and comments on the work of the loader were noted. The measures to improve the loader are outlined. These are the development of a rotary assembly of a vertical stand, reinforcement of the boom anchoring axis, development of tractor stoppers. This will allow mobile work with a load of more than 1000 kg.

Keywords: front loader, numerical calculation, timber grapple, aggregation with an MTZ tractor, 3D-modeling.

Введение

На сельхозпредприятиях большой объем работ связан с необходимостью выполнять погрузочно-разгрузочные работы. Для этих целей используют фронтальные погрузчики. Погрузчики осуществляют погрузку сена в рулонах в тракторные прицепы для перевозки с полей на фермы, а также перевозку минеральных и органических удобрений, семенного материала, леса и пиломатериалов, бетонных колец для колодцев и пр. Крупные хозяйства для этих целей приобретают специальные погрузчики или приспособляют трактор МТЗ за счет навешивания на него комплекта стандартного оборудования. Погрузчик имеет сменный рабочий орган, например ковш для сгребания снега, навоза или грейфер для погрузки леса. Подобные погрузчики показаны на рис. 1, а–г.

Достоинства погрузчиков

Как видно, существующая техника имеет довольно сложную конструкцию с параллелограммной кинематической рамой погрузчика.

Рама приводится в действие несколькими гидроцилиндрами.

Гидросистема трактора позволяет работать с гидроцилиндрами погрузчиков. Управление работой погрузчика производится из кабины трактора с помощью рычагов гидросистемы, имеющих несколько положений.

Рама погрузчиков массивная, усиленная, стрелы разнесены в стороны, благодаря чему возможно поднятие грузов с достаточной устойчивостью к опрокидыванию.

Погрузчики имеют большую грузоподъемность: 3000...6000 кг, что обеспечивает возможность работы с различными грузами при высокой производительности.

Недостатки погрузчиков

Высокая стоимость как навесных погрузчиков (500–600 тыс. руб.), так и грейферов леса в отдельности (70–80 тыс. руб.).

Прицеп с манипулятором (рис. 1, г) имеет свою гидравлическую систему, что приводит, с



а) фронтальный погрузчик, класс D



б) экскаватор-погрузчик JCB 4CX



в) фронтальный погрузчик, класс C



г) прицеп с манипулятором для погрузки леса

Рис. 1. Погрузчики

одной стороны, к управлению большим числом гидроцилиндров, повышая мобильность на погрузке леса, а с другой стороны – к существенному удорожанию.

Актуальность проекта

В малых фермерских хозяйствах разгрузо-погрузочные работы требуются регулярно. Объем работ, необходимый для обеспечения личного хозяйства, характеризуется большим разнообразием их видов, и не является большим по сравнению с объемом работ сельхозпредприятий. Для частных фермеров вопросы погрузочно-разгрузочных работ представляет проблему, потому что в большинстве случаев они имеют в наличии один трактор, для проведения сельскохозяйственных работ, без специального погрузчика. Частные фермеры не могут приобретать дорогие специальные погрузчики, мощность и производительность, которых не будут использоваться в полной мере.

Поэтому поставлена задача: разработать простое съемное погрузочно-разгрузочное устройство для возможности его монтажа на трактор МТЗ. Максимально поднимаемый груз должен быть не более 1000 кг. Такое устройство должно выполнять различные виды погрузочно-разгрузочных работ, что в значительной степени расширит спектр и объем работ, выполняемых фермерами, поскольку практически подавляющее большинство грузов сельского хозяйства лежит в указанных пределах. Конструкторское решение погрузчика фронтального по техническим возможностям должно быть доступно в изготовлении фермерам личных подсобных хозяйств.

Тема является актуальной, поскольку большой сегмент малых подсобных хозяйств нуждается для проведения разгрузо-разгрузочных работ в универсальных фронтальных погрузчиках приемлемой стоимости, простой и надежной конструкции, с возможностью их изготовления в условиях хозяйства из недорогих доступных материалов, при этом с эффективной работоспособностью и безотказностью. Поэтому тема работы важна для социально-экономического развития сельского и лесного хозяйств России, в частности, и Ярославской области, а также для продвижения инженерной науки. Тема и содержание исследования соответствуют профильному научному направлению.

Цели, задачи и новизна проекта

Цель

Разработка конструкции фронтального погрузчика, оснащенного грейфером для погрузки/разгрузки леса, и других грузов не превышающих 1000 кг, имеющего возможность агрегатирования с трактором класса С типа МТЗ-82.

Новизна

Данное разгрузо-погрузочное устройство создано такой конфигурации и грузоподъемности. Разработка является полностью инновационной, характеризуется оригинальностью решения проблемы. Устройство отличается от имеющихся погрузчиков меньшей стоимостью, простотой монтажа/демонтажа к трактору и следующими конструктивными особенностями: конструкцией вертикальной стойки, конструкцией стрелы, конструкцией навесного и прицепного устройств. Устройство монтируется на тракторе МТЗ.

Для решения поставленной цели необходимо выполнить следующие задачи.

Задачи

1. Провести анализ существующей техники, выявить достоинства и недостатки.
2. Провести конструкторскую разработку фронтального погрузчика с помощью 3D-моделирования.
3. Разработать узел крепления фронтального погрузчика к трехточечной навеске трактора МТЗ.
4. Фронтальный погрузчик должен обеспечивать подъем грузов на высоту не менее 2,5 м. Это позволит не только укладывать грузы в кузов транспортного средства, но и выполнять другие работы.
5. Провести кинематический и визуальный контроль работоспособности конструкции фронтального погрузчика численным методом с доводкой геометрии деталей и узлов с целью наилучшего перемещения и функциональности.
6. Провести расчет максимальных напряжений в конструкции фронтального погрузчика численным методом при нагрузке в 1000 кг.
7. Провести расчет максимального изгиба в конструкции фронтального погрузчика численным методом при нагрузке в 1000 кг.
8. Оптимизировать детали конструкции фронтального погрузчика под нагрузку 1000 кг с целью получения минимальных напряжений и коэффициента запаса прочности минимум 2...2,5.

9. Монтаж и демонтаж погрузчика на трактор обеспечить с применением простых приспособлений.

10. Создать натурный образец фронтально-го погрузчика и провести его испытания с различными грузами.

11. Обозначить пути совершенствования конструкции фронтального погрузчика после испытаний, выявив особенности работы его с различными грузами.

Трактор МТЗ был выбран, потому что он является самым массовым в РФ и имеет следующие особенности.

1. Навесное устройство, которое может воспринимать достаточное усилие от нагрузки фронтального погрузчика при погрузо-разгрузочных работах. Навесное устройство представляет собой трехточечную схему, позволяющую агрегатировать трактор с фронтальным погрузчиком достаточно жестко. Устройство имеет возможность подъема и опускания навески, что позволяет удобно производить монтаж/демонтаж погрузчика с трактором.

2. Трактор имеет гидросистему, которая позволит работать с гидроцилиндрами погрузчика, что даст возможность управления из кабины трактора фронтальным погрузчиком с помощью рычагов, является хорошей безопасной опцией при работе на погрузке леса. Например, на манипуляторе рычаги выведены на самом устройстве, вне кабины, и трактористу приходится выходить из кабины, чтобы управлять погрузкой, что не безопасно. При погрузке леса существует повышенная опасность срыва или опрокидывания бревен, поэтому кабины тракторов, оснащенных погрузчиками леса, армируют специальными довольно таки дорогостоящими устройствами.

Практическая значимость заключается в том, что фронтальный погрузчик был спроектирован с использованием численного расчетного метода, изготовлен и опробован в работе. Изготовление проводилось на базе малого фермерского хозяйства А.А. Хотько. В процессе испытаний погрузчик обеспечивал выполнение работ без каких-либо отказов в работе, как в гидравлической части, так и в конструктивной части.

Область применения: данный погрузчик имеет целевую направленность при работе на погрузке-разгрузке леса, для этого он оснащен специальным захватом – грейфером леса. Погрузчик позволяет выполнять комплекс раз-

грузо-погрузочных работ грузов разного назначения: бревна, сено в рулонах, силос, мешки с удобрениями, строительные материалы. Это расширяет сферу его использования. Поскольку высота подъема крайней точки стрелы составляет 2,8 м, то это позволяет использовать погрузчик при строительстве небольших частных домов: поднимать на первый этаж грузы до 1 т, а так же бетонные кольца для колодцев.

Погрузчик оборудован дополнительным захватом, на который возможно крепить металлический трос, что позволяет поднимать грузы любой формы, которые можно закрепить тросом.

Материалы и методы

Конструкция фронтального погрузчика разрабатывалась в программе Solidworks методом конечных элементов в трехмерном пространстве (по другому этот метод проектирования называют численным расчетом) [1]. Были построены твердотельные детали погрузчика, а затем детали поочередно соединялись друг с другом по условиям соприкосновения [2]. Валы и болты соединяли уши гидроцилиндров, уши стрелы и уши вертикальной стойки по условиям соосности. Дополнительно были назначены условия соприкосновения и отношение сторон деталей различных групп как параллельности или перпендикулярности по отношению друг к другу [3]. На грейфер были наложены дополнительные условия ограничения раскрытия угла его зубьев. Гидроцилиндры также имели условия ограничения выхода на определенное расстояние штока. Была проведена проверка условия интерференции всей сборки конструкции – это условие непроникновения деталей друг в друга. Проведена проверка кинематики звеньев погрузчика, при которой учитывалось движение всех деталей. Программа позволяет выполнить функциональные движения конструкции, при этом видно, как правильно выполняют свои функции в движении детали сборки. В случае неверных геометрических параметров хотя бы одной детали конструкция не будет выполнять верные направления движения. Таким образом, геометрия всех деталей доведена до необходимых допустимых размеров [4].

Результаты и обсуждение

На рис. 2 представлен общий вид фронтального погрузчика. Само устройство пред-

ставляет собой вертикальную стойку 2, которая крепится с помощью автосцепки 1 в месте крепления сельскохозяйственных машин на трехточечную систему навески трактора МТЗ. Материалом вертикальной стойки 2 был выбран швеллер, как наиболее доступный из материалов. К вертикальной стойке 2 крепится стрела 4 в виде круглой трубы диаметром 100 мм и толщиной 8 мм. В нижней части вертикальной стойки 2 расположено крепление нижней опоры гидроцилиндра 3, а верхняя часть гидроцилиндра связана со стрелой.

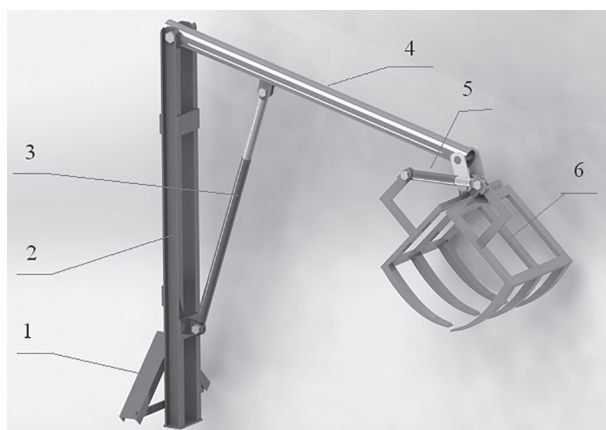


Рис. 2. Общий вид фронтального погрузчика:

1 – автосцепка; 2 – вертикальная стойка;
3, 5 – гидроцилиндры; 4 – стрела; 6 – грейфер леса

Погрузчик способен поднимать груз до 1000 кг на высоту 2,8 м. Этого достаточно, чтобы фронтальный погрузчик смог провести погрузку/разгрузку тракторного прицепа.

Благодаря винтовой стяжке фермер выровняет стойку 2 строго вертикально для получения минимальных боковых напряжений при работе.

Учитывая специфику работы с бревнами, сделан специальный захват с гидроприводом – грейфер. Лесопромышленники называют его грейфером леса. У грейфера одна сторона частично зафиксирована, а вторая имеет свободный ход, состоит из двух частей.

Гидроцилиндры 3 и 5 работают от гидравлической системы трактора МТЗ. Подача масла на гидроцилиндр 3 позволяет подниматься и опускаться стреле 4, а на гидроцилиндр 5 позволяет открываться и закрываться грейферу леса 6. Для взятия бревна, например, необходимо убрать давление масла из гидроцилиндра 3; стрела при этом опустится, грейфер должен быть открытым. Гидроцилиндр 5 получает давление масла и выдвигает свой шток, благодаря чему грейфер закрывается, происходит захват

бревна. Затем подается давление масла на гидроцилиндр 3, и стрела поднимается с грузом.

Перемещение груза по территории осуществляется путем передвижения трактора до нужного места разгрузки, например к платформе тракторного прицепа.

На рис. 3 и 4 показан грейфер в двух видах. Схема движения грейфера имеет непростую кинематику, поскольку требуется четкая стыковка деталей грейфера, чтобы они не задевали друг за друга при максимальном и минимальном открытии. Необходимо также, чтобы зубья грейфера были смещены и имели небольшой зазор в закрытом положении.

Гидроцилиндр при максимальном закрытом положении не должен прикасаться к грейферу корпусом. Предельные положения грейфера (открытие и закрытие) должны соответствовать предельным положениям гидроцилиндра.

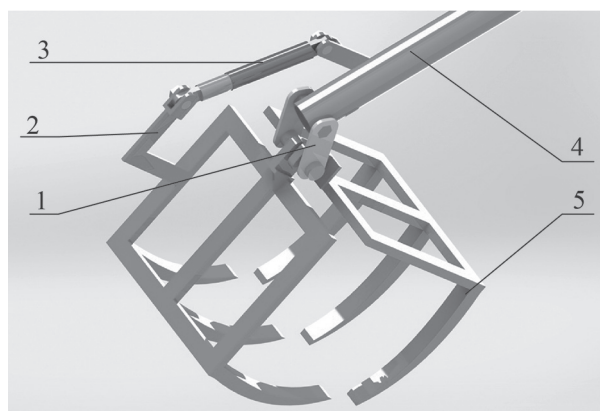


Рис. 3. Грейферный захват для леса фронтального погрузчика (вид сбоку):

1 – уши крепления; 2 – плечо гидроцилиндра;
3 – гидроцилиндр; 4 – стрела; 6 – грейферный захват

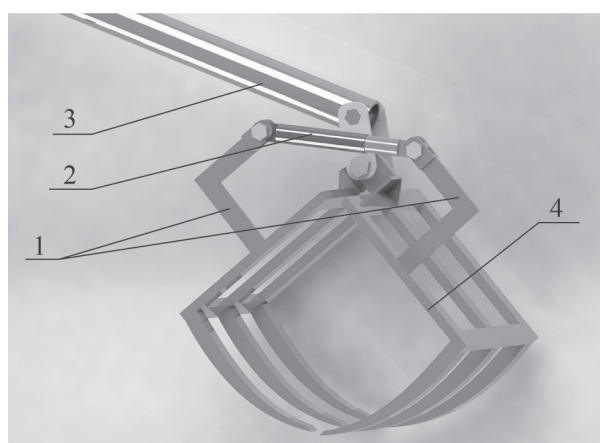


Рис. 4. Грейферный захват для леса фронтального погрузчика (вид спереди):

1 – плечи гидроцилиндра; 2 – гидроцилиндр;
3 – стрела; 4 – грейферный захват

За эту задачу отвечают геометрия плечей 1 гидроцилиндра (рис. 3).

На рис. 5 показано крепление грейфера к стреле. Шестигранник 5 вставлен в отверстие стрелы 6 и проварен для фиксации. Таким образом, уши крепления 2 крепятся к шестиграннику 5 и тоже не имеют свободного перемещения – они зафиксированы. Ось крепления грейфера 4 соединяет уши крепления 2 и грейфер 3 таким образом, что грейфер имеет возможность менять свое положения от открытого до закрытого.

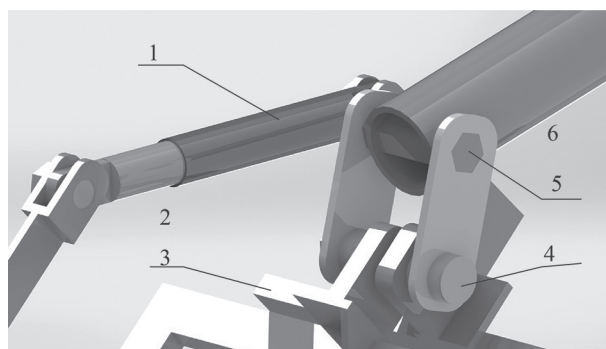


Рис. 5. Крепление грейфера к стреле:

1 – гидроцилиндр; 2 – уши крепления; 3 – грейфер;
4 – ось крепления грейфера; 5 – шестигранник

Расчет конструкции фронтального погрузчика

на прочность численным методом

Расчет конструкции производился при следующих геометрических параметрах (результат расчета показан на рис. 6):

- вылет стрелы составляет 1800 мм;
- высота вертикальной стройки составляет 2000 мм;
- нагрузка на зубья грейфера составляет 1000 кг. Нагрузка, показанная стрелочками на рис. 6, приложена по нормальям к поверхности зубьев грейфера;
- вертикальная стойка зафиксирована снизу, поскольку это место крепления к навеске трактора (графически показано на рис. 6 кнопками-гвоздиками – это условное обозначение в программе) [5, 6].

Были получены максимальные напряжения 187,6 МПа в оси стрелы (указано флажком на рис. 6). Диаметр оси составляет 50 мм. Выбираем для оси сталь с пределом текучести $\sigma_t = 400...500$ МПа. Таким образом, коэффициент запаса прочности составляет 2...2,5, что вполне достаточно для безотказной работы фронтального погрузчика [7, 8].

На рис. 7 показан результат численного расчета максимального изгиба конструкции

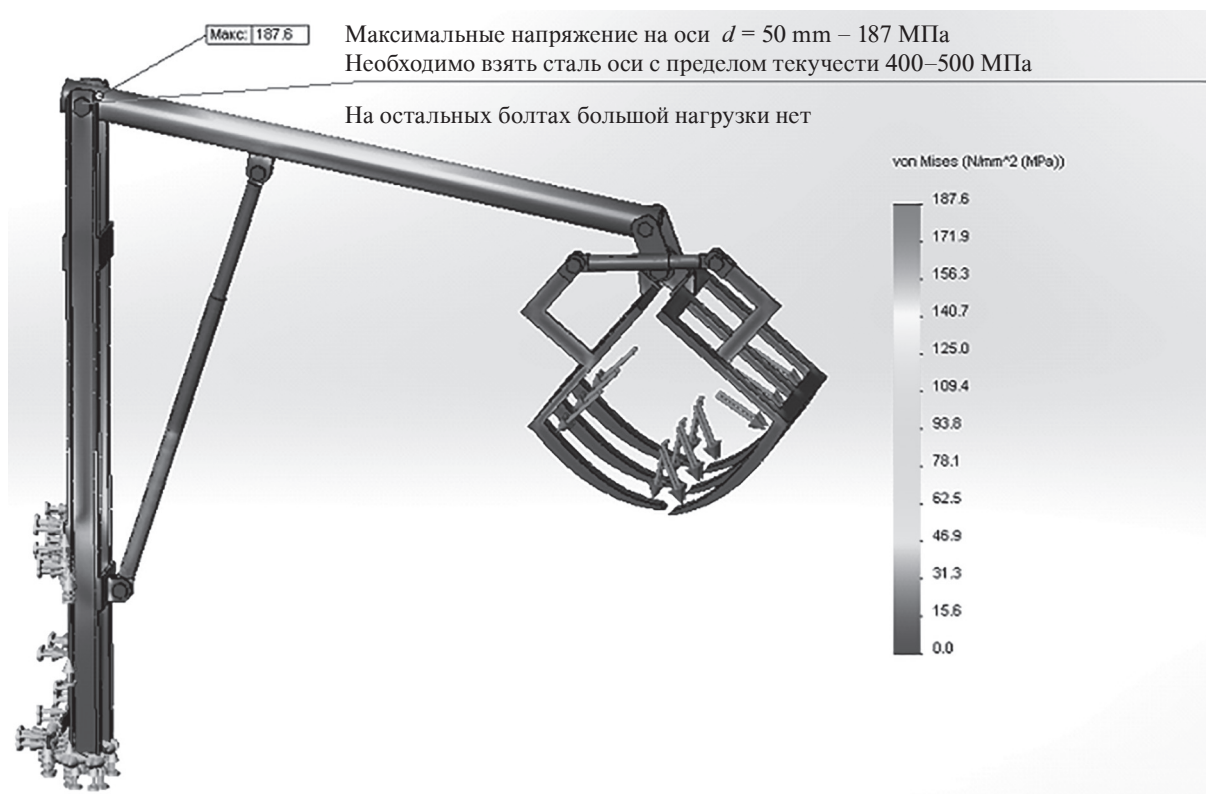


Рис. 6. Графическая эпюра максимальных напряжений

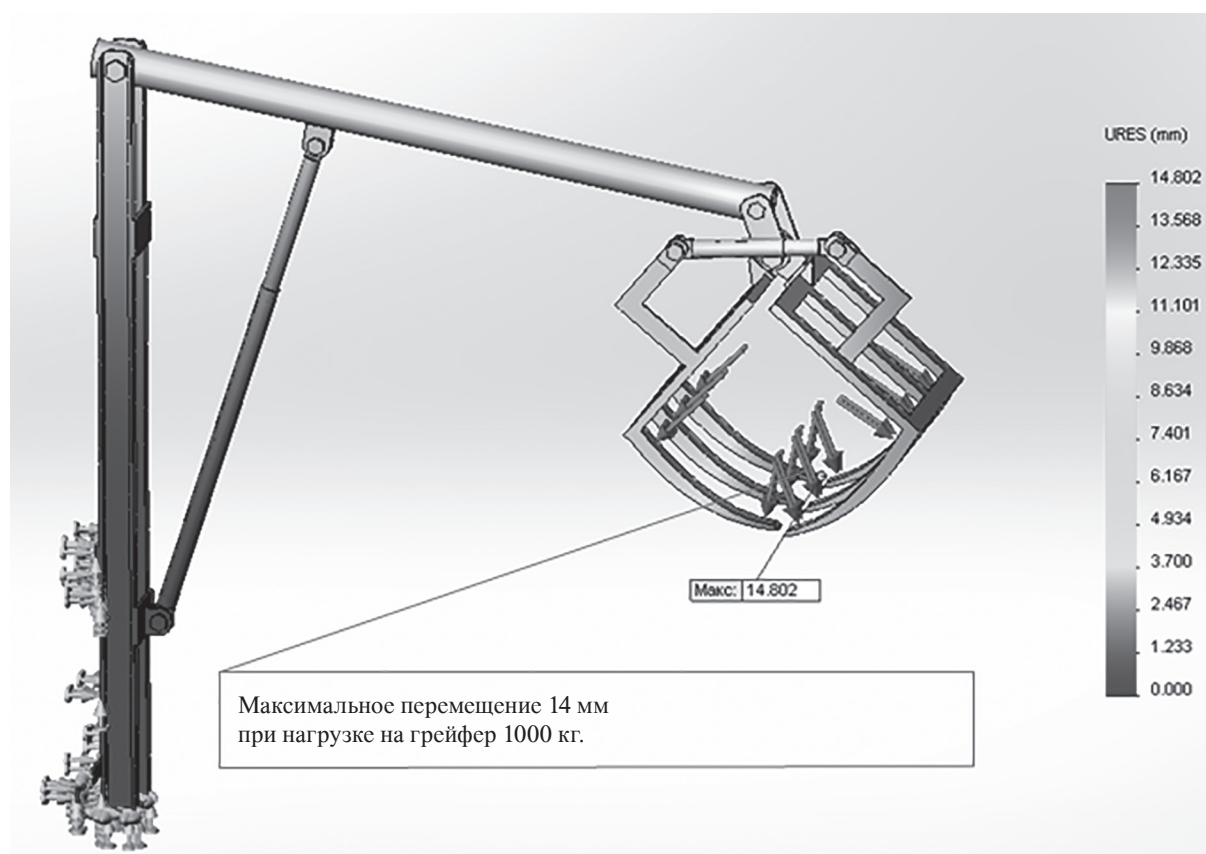


Рис. 7. Графическая эпюра максимального изгиба

фронтального погрузчика. На рисунке видно, что максимальное перемещение кончика зуба грейфера относительно точки крепления вертикальной стойки к системе навески трактора составляет всего 14 мм. Иными словами 14 мм – это величина наклона всей конструкции от точки крепления вертикальной стойки при максимально допустимой нагрузке.

Изготовление опытного образца фронтального погрузчика.

Выбор гидроцилиндров для стрелы и грейфера погрузчика

Чтобы правильно подобрать гидроцилиндр нужно знать минимальный набор характеристик,

которые определяют присоединительные размеры гидроцилиндра и его рабочие параметры.

Диаметр поршня – определяет значение толкающего/тянущего усилия гидроцилиндра.

Диаметр штока и ход поршня гидроцилиндров – определяют фактические нагрузки и необходимый диапазон перемещений.

Расстояние по центрам (в сложенном состоянии) – определяет присоединительные размеры гидроцилиндра.

Конструктивное исполнение – определяет способ крепления гидроцилиндра [9].

Из таблицы следует, что большой гидроцилиндр диаметром 90 мм может создать толкающее усилие в 10 тонн. Гидроцилиндры

Таблица

Характеристики гидроцилиндров

Гидроцилиндр	Диаметр поршня, мм	Диаметр штока, мм	Ход поршня, мм	Расстояние по центрам, мм	Номинальное давление, МПа	Максимальное давление, МПа	Толкающее усилие, кг	Тянущее усилие, кг
Гидроцилиндр ГЦ 90.40.205.515.02.0032	80	56	970	1285	16	20	10000	5100
Гидроцилиндр ГЦ 40.25.300.490.20	40	25	300	490	16	20	2500	1500

имеют большой запас на толкающее усилие. Ограничение в подъеме груза зависит только от конструкции погрузчика и от наличия упоров. Упоры должны разводиться в стороны; они позволяют конструкции погрузчика не перевешивать трактор при подъеме тяжелых грузов.

*Проверка работоспособности
фронтального погрузчика в действии*

Фронтальный погрузчик был изготовлен и смонтирован на тракторе (см. рис. 8). Гидросистема погрузчика подсоединена к гидросистеме трактора.



Рис. 8. Фронтальный погрузчик прицеплен и навешен на сцепку трактора МТЗ

Чтобы захватить бревно, необходимо подъезжать трактором к нему, так как у стрелы нет перемещения по длине.

Работа погрузчика с бревнами показана на рис. 9.



Рис. 9. Фронтальный погрузчик в работе с бревнами

Фронтальный погрузчик имеет хорошую производительность: может за 0,4...1,5 минуты поднять бревно и погрузить его в тракторный прицеп. Это позволило выполнить погрузку бревен в тракторный прицеп и отвезти на пиломатериалу.

В работе не было каких-либо замечаний по эффективности использования фронтального погрузчика.

Благодаря дополнительному креплению на стреле есть возможность поднимать грузы различной геометрической формы: например, большие мешки с удобрениями, скрученное в рулон сено или кольца для колодцев. Пример использования такой технологии показан на рис. 10.



Рис. 10. Фронтальный погрузчик в работе с железобетонными кольцами

На фронтальном погрузчике снизу на вертикальной стойке установлено сцепное устройство (рис. 11), что позволяет прицеплять к трактору прицеп. Приехав на место работы, тракторист отсоединяет прицеп от погрузчика, и трактор отъезжает грузить бревна или другой груз в прицеп (рис. 12). При этом фронтальный погрузчик продолжает быть навешенным на трактор. Это очень удобно, поскольку трактор выполняет две функции – погрузки и перевозки груза.



Рис. 11. Сцепное устройство:
1 – серьга

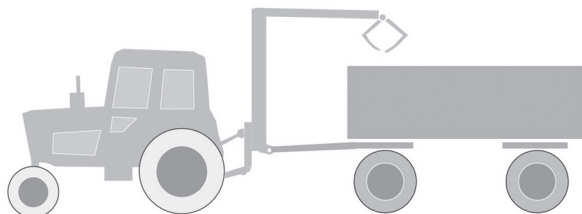


Рис. 12. Трактор транспортирует прицеп совместно с фронтальным погрузчиком

Рекомендации по дальнейшему совершенствованию конструкции

Расширение сферы действия устройства позволит фермеру использовать дополнительные возможности в работе. Выделим пути совершенствования устройства.

1. Необходимо предусмотреть установку на стрелу различных устройств, например крюка. Крюк позволит подъем грузов любой формы, используя стропы или металлический трос. Крюк позволяет фиксировать стропы груза надежно, что позволяет обеспечить безопасность работы людей при передвижении грузов. Крюк имеет большую надежность.

2. Поворот вертикальной стойки позволит улучшить условия работы фермера, повысит удобство в маневрировании фронтальным погрузчиком при выборе удобного положения захвата груза. Но это потребует изменения конструкции.

3. Для повышения устойчивости и снижения напряжения в местах опоры стрелы рекомендуем изменение конфигурации опорной части стрелы.

Намеченные изменения планируется реализовать ближайшее время.

Достоинства разработанного фронтального погрузчика и стоимость изготовления

Выбранные расчетным путем параметры (размеры и сечения деталей) погрузчика обеспечивают его работу с высокой надежностью.

Для изготовления погрузчика использованы доступные элементы стального проката. Готовыми изделиями являются только гидроцилиндры и шланги гидросистемы.

Монтаж погрузчика на трактор может быть осуществлен с помощью простых приспособлений и не занимает много времени.

Погрузчик фронтальный имеет хорошую производительность: позволяет приблизительно за 0,4...1,5 минуты захватить бревно, поднять и перевезти его в тракторный прицеп.

При испытаниях фронтальный погрузчик обеспечил выполнение различных погрузочно-разгрузочных работ без каких-либо замечаний.

Испытания показали, что возможно совершенствование конструкции устройства для повышения эффективности его работы.

Стоимость изготовления фронтального погрузчика составила 50 тыс. рублей. Существующие погрузчики находятся в ценовых пределах 500...600 тыс. руб., так и грейферы леса в отдельности 70...80 тыс. руб. Это показывает, что предлагаемый нами фронтальный погрузчик имеет значительную конкурентную способность на сельскохозяйственном рынке.

Заключение

Работа является полностью завершенной: поставленная цель и соответствующие ей задачи выполнены последовательно и полностью реализованы. Все стадии проекта от постановки задачи до изготовления и испытаний опытного образца также выполнены в полном объеме.

Была создана простая, надежная и недорогая конструкция фронтального погрузчика.

При многократных расчетах 3D-модели были оптимизированы детали под максимальную нагрузку на конструкцию в целом на 1000 кг. Максимальные напряжения 189 МПа при нагрузке в 1 т в два раза меньше предела текучести стали, то есть с коэффициентом запаса 2.

Фронтальный погрузчик был изготовлен и проверен в работе.

Нареканий и замечаний к работе погрузчика не было отмечено.

Намечены мероприятия по совершенствованию конструкции погрузчика.

Имеется акт внедрения, подтверждающий успешно прошедшие испытания опытного образца фронтального погрузчика.

Разработанный погрузчик может быть рекомендован для изготовления и применения в условиях малых хозяйств РФ.

Работа имеет большое значение для социально-экономического развития лесного и сельского хозяйства в России и, в частности, Ярославской области, а также для продвижения Российской инженерной науки.

Литература

1. Справка по SOLIDWORKS: основные принципы SolidWorks URL: http://help.solidworks.com/2013/russian/SolidWorks/sldworks/c_solidworks_fundamentals_overview.htm?verRedirect=1 (дата обращения: 01.08.2018).
2. CADArtifex.Solidworks 2015. A Power Guide for Beginner and Intermediate Users. CADArtifex, 2015.
3. UCF Engineering.SolidWorks lessons [Текст] / University of Central Florida, College of Engineering and Computer Science, USA, 2015. 253 p.
4. Алямовский А.А. SolidWorks Simulation. Инженерный анализ для профессионалов: задачи, методы, рекомендации. М.: ДМК Пресс, 2015. 562 с.
5. Ашейчик А.А., Полонский В.Л. Расчет деталей машин методом конечных элементов. СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2016. 243 с.
6. Варывдин В.В., Романцев Н.А., Никитин В.В. Расчет деталей и механизмов подъемно-транспортных машин с элементами САПР: учебное пособие. Брянск: Издательство Брянской ГСХА, 2013. 131 с.
7. Герасимов С.В., Долотов А.М., Кулаков Ю.Н. Краткий справочник для расчета грузоподъемных машин. Братск.: ГОУ ВПО «БрГУ», 2009. 103 с.
8. Чернега В.И., Мазуренко И.Я. Краткий справочник по грузоподъемным машинам. 2-е изд., перераб. и доп. К.: Техника, 1988. 303 с.
9. Характеристики гидроцилиндров: размеры и усилия ГЦ. URL: http://gik43.ru/articles/harakteristiki_gidrotsilindrov.html (дата обращения: 20.03.2019).

References

1. Spravka po SOLIDWORKS [Elektronnyj resurs]: osnovnye principy SolidWorks URL: http://help.solidworks.com/2013/russian/SolidWorks/sldworks/c_solidworks_fundamentals_overview.htm?verRedirect=1 (data obrashcheniya: 1.08.2018).
2. CADArtifex.Solidworks 2015 [Tekst] / A Power Guide for Beginner and Intermediate Users. CA-DArtifex, 2015.
3. UCF Engineering.SolidWorks lessons [Tekst]/ University of Central Florida, College of Engineering and Computer Science, USA, 2015. 253 p.
4. Alyamovskij A.A. SolidWorks Simulation. Inzhenernyj analiz dlya professionalov: zadachi, metody, rekomendacii [SolidWorks Simulation. Engineering analysis for professionals: objectives, methods, recommendations]. Moscow: DMK Press Publ., 2015. 562 p.
5. Ashejchik A.A., Polonskij V.L. Raschet detalej mashin metodom konechnyh elementov [Calculation of machine parts by the finite element method]. SPb.: Izd-vo Politekh. un-ta Publ., 2016. 243 p.
6. Varyvadin V.V., Romancev N.A., Nikitin V.V. Raschet detalej i mekhanizmov pod"emno-transportnyh mashin s elementami SAPR [Calculation of parts and mechanisms of hoisting machines with elements of CAD]. Uchebnoe posobie. Bryansk.: Izdatel'stvo Bryanskoj GSKHA Publ., 2013. 131 p.
7. Gerasimov S.V., Dolotov A.M., Kulakov YU.N. Kratkij spravochnik dlya rascheta gruzopod"emnyh mashin [Quick reference guide for the calculation of lifting machines]. Bratsk.: GOU VPO «BrGU» Publ., 2009. 103 p.
8. CHernega V.I., Mazurenko I.YA. Kratkij spravochnik po gruzopod"emnym mashinam [Quick reference guide to lifting machines]. 2-e izd., pererab. i dop. K.: Tekhnika Publ., 1988. 303 p.
9. Harakteristiki gidrocilindrov [Elektronnyj resurs]: razmery i usiliya GC [Characteristics of hydraulic cylinders]. URL: http://gik43.ru/articles/harakteristiki_gidrotsilindrov.html (data obrashcheniya: 20.03.2019).