


На правах рукописи



Прокудина Анастасия Викторовна

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ РОТОРА
КУСТОРЕЗА С ШАРНИРНО-СОЧЛЕНЁННЫМИ НОЖАМИ ДЛЯ
ОСВЕТЛЕНИЯ ЛЕСНЫХ КУЛЬТУР НА ВЫРУБКАХ**

4.3.4. Технологии, машины и оборудование для лесного хозяйства
и переработки древесины

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук

Воронеж 2023

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова» (ФГБОУ ВО «ВГЛТУ»).

Научный руководитель: **Драпалюк Михаил Валентинович** – доктор технических наук, профессор.

Официальные оппоненты: **Григорьев Игорь Владиславович** – доктор технических наук, профессор, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Арктический государственный агротехнологический университет», кафедра технология и оборудование лесного комплекса, профессор

Фомина Ольга Александровна – кандидат технических наук, доцент, федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Государственный аграрный университет Северного Зауралья», кафедра лесного хозяйства, технологии деревообработки и прикладной механики, доцент

Ведущая организация: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет имени Н.И. Вавилова» (г. Саратов)

Защита состоится 06 октября 2023 г. в 14-00 часов на заседании диссертационного совета 24.2.285.01, созданном на базе ФГБОУ ВО «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова» по адресу: 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8, зал заседаний – аудитория 146.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте Воронежского государственного лесотехнического университета имени Г.Ф. Морозова https://vgltu.ru/files/documents/Disert_24.2.285.01/procludina/procludina.pdf

Автореферат разослан «___» августа 2023 г.

Ученый секретарь
диссертационного совета



Платонов Алексей Дмитриевич

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность исследования. Рациональное использование лесных ресурсов и их восстановление — одна из главных задач лесного сектора промышленности. В лесном хозяйстве актуальными являются исследования, способствующие сохранению и устойчивому развитию лесных экосистем и принципов работы с ними. Один из методов выращивания качественных лесных насаждений это осветление, процесс контролирования плотности насаждений и улучшения условий роста деревьев основной породы.

Механизированные операции могут повысить эффективность процесса осветления лесов, но их использование ограничено из-за высоких затрат и сложности работ. Нерегулярное проведение операции осветления приводит к интенсивному росту нежелательной растительности. Механизация процесса осветления позволит снизить временные затраты и повысить экономическую эффективность работ.

Большое количество исследователей занимались вопросами обоснования параметров конструкций и внедрением новых технологических подходов в процесс удаления нежелательной растительности. В ходе осветлений может быть задействовано как ручное оборудование с бензиновым или электроприводом, так установленное на навеске тракторов и приводимое в движение от гидросистемы или вала отбора мощности. Тракторные кусторезы с дисковыми рабочими органами, а также с инерционными ножами, установленными на роторах, получили наибольшее распространение в лесном хозяйстве России.

Использование фрез вызывает излишние энергетические затраты на тонком кустарнике, а при больших скоростях подачи приводит к неполному срезанию растительности из-за «приглаживания». Пильные цепи подвергаются значительным нагрузкам на изгиб во время контакта с тонкомерной древесиной, так как глубина пропила значительно меньше и нет поддерживающей силы со стороны ствола. На применение дисковых пил влияют рельеф почвы и состояние вырубki, в то время как инерционно-рубящие элементы могут быть применены благодаря возможности компенсировать уклон и обходить непреодолимые препятствия за счет их шарнирного соединения.

Для разработки более совершенной конструкции кустореза с шарнирно-сочлененными ножевыми рабочими органами необходимы дополнительные исследования, направленные на обеспечение более полного срезания гибкой поросли нежелательной древесно-кустарниковой растительности. В связи с этим механизация осветлений позволяет повысить эффективность работ, поэтому разработка новых машины и рабочих органов кусторезов является актуальной задачей.

Диссертационные исследования выполнены при финансовой поддержке РФФИ, в рамках научного проекта № 20-38-90029, а также в рамках выполнении госбюджетной тематики ВГЛТУ, шифр: 116092210006, с 2021 по 2025 гг.

Степень разработанности темы исследования. Обзор теоретических исследований показал значительную проработку отдельных вопросов теории касемо сил резания кинематики и динамики, но исследования не сведены в единой

математической среде, и потому их применение вызывает значительные сложности у инженеров. Назрела необходимость разработки методики, позволяющей объединить работу в системах автоматизированного проектирования конструкций с математической средой, позволяющей проводить имитационные эксперименты для обоснования параметров ротора кустореза.

Цель и задачи исследования

Цель – обоснование параметров шарнирно-сочлененного рабочего органа кустореза для повышения эффективности осветления лесных культур на вырубках.

Для достижения поставленной цели были решены следующие задачи:

1. Создать новую конструкцию ротора кустореза с шарнирно-сочлененными ножевыми рабочими органами и трехмерную модель технологического оборудования.

2. Разработать имитационную модель технологического оборудования.

3. Определить конструктивные параметры и режимы работы технологического оборудования.

4. Усовершенствовать методику имитационного моделирования динамических систем – звеньев технологического оборудования для осветления лесных культур.

5. Провести оценку энергоёмкости и качества срезания поросли на различных режимах работы шарнирно-сочлененных ножевых рабочих органов.

Объектом исследования являются конструкция кустореза с шарнирно-сочлененными ножами и рабочие процессы при срезании поросли.

Предметом исследования являются кинематические и динамические характеристики конструкции и рабочего процесса кустореза.

Научная новизна работы:

1. Разработана новая конструкция ротора кустореза с шарнирно-сочлененными ножевыми рабочими органами и трехмерная модель технологического оборудования, отличающаяся рациональными параметрами геометрических и массовых характеристики всех звеньев конструкции механизма.

2. Имитационная модель рабочего процесса удаления поросли технологическим оборудованием, отличающаяся учетом конструктивных параметров и режимов работы нового ротора кустореза.

3. Конструктивные параметры и режимы работы кустореза, отличающиеся эффективностью срезания поросли.

4. Методика имитационного моделирования динамических систем в конструкции кустореза, отличающаяся учетом комплексной оценки мощности рабочего процесса, обеспечивающего повышение качества срезания поросли.

5. Техничко-экономические показатели эффективности рабочих процессов шарнирно-сочлененных ножевых рабочих органов, отличающейся снижением энергоёмкости и повышением качества срезания поросли.

Теоретическая значимость работы заключается в расширении основных положений теории взаимодействия активного рабочего органа кустореза роторного типа с древесно-кустарниковой растительностью.

Практическая значимость работы состоит в разработке новой конструкции ротора кустореза, защищенной патентом, усовершенствовании технологического процесса и обосновании режима работы ротора кустореза, обеспечивающие

повышение эффективности и качества срезания поросли. Разработанная имитационная модель динамической системы кустореза, позволяет с большей точностью исследовать процессы происходящих во время работы кустореза, установить зависимости между параметрами кустореза и показателями его рабочего процесса и определить требуемую для срезания поросли мощность

Полученные результаты работы внедрены в Тамбовском областном государственном учреждении «Челнавский лесхоз», Инжиниринговом центре и в учебном процессе Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Воронежский государственный лесотехнический университет имени Г.Ф. Морозова».

Методологическая, теоретическая и эмпирическая база исследования.

В ходе теоретических исследований применялись методы имитационного моделирования в программном комплексе MATLAB, с использованием положений из теоретической механики, теории машин и механизмов. Эксперимент проводился по общепринятой методике, обработка результатов вычислительного и лабораторного экспериментов проводилась с использованием методов математической статистики.

Научные положения, выносимые на защиту:

1. Рабочий процесс новой конструкции ротора кустореза с шарнирно-сочлененными ножевыми рабочими органами и трехмерная модель технологического оборудования, позволяющая получить рациональные значения геометрических характеристик всех звеньев кустореза.

2. Имитационная модель рабочего процесса удаления поросли технологическим оборудованием, позволяющая обосновать необходимую мощность для заданного рабочего процесса срезания поросли.

3. Обоснованные конструктивные параметры и режимы работы кустореза, позволяющие повысить эффективность срезания поросли.

4. Методика имитационного моделирования динамических систем в конструкции кустореза, позволяющая обосновать оптимальные параметры конструкции и рабочего процесса, обеспечивающие повышение качества срезания поросли.

5. Технико-экономические оценка эффективности рабочих процессов шарнирно-сочлененных ножевых рабочих органов, с учетом пониженной энергоёмкости и повышения производительности срезания поросли.

Степень достоверности и апробация результатов работы.

Достоверность результатов, представленных в диссертационной работе, обосновывается проведенными теоретическими и экспериментальными исследованиями, высокой степенью сходимости результатов изучения рабочих процессов кустореза с шарнирно-сочлененными рабочими органами, применением современных методов статистической обработки данных.

Основные результаты диссертационного исследования были представлены на конференциях: «Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе» (Воронеж, 2021 г.), «Повышение эффективности лесного комплекса» (Петрозаводск, 2021 г.), «Цифровые технологии в лесной отрасли» (Воронеж, 2022 г.), «Новые материалы и перспективные технологии

лесопромышленного комплекса» (Воронеж 2022 г.), а также ежегодных научно-практических конференциях ВГЛУ (2021–2023 гг).

Соответствие диссертации паспорту научной специальности. Диссертационная работа соответствует п. 5 «Компоновка, типы, параметры и режимы работы машин лесохозяйственных и лесопромышленных производств» паспорта специальности 4.3.4. «Технологии, машины и оборудование для лесного хозяйства и переработки древесины».

Личный вклад автора заключается в проведении анализа литературных и патентных источников, разработке имитационной модели процесса удаления поросли в программном комплексе MATLAB и проведении вычислительных экспериментов, изготовлении лабораторного стенда со сменными рабочими органами, подготовке к публикациям научных статей.

Публикации. Основные материалы диссертации опубликованы в 11 работах, в т.ч. 4 публикации в изданиях, рекомендованных ВАК, 1 статья в издании из базы Scopus, один патент на полезную модель.

Структура и объем работы. В структуру диссертации входит введение, пять глав основного текста, основные выводы и рекомендации, а также библиографический список и приложения. Общий объем работы составил 147 страниц печатного текста, из них основного текста – 121 страница, библиографический список и приложения – 26 страниц. Работа включает 117 рисунков, 9 таблиц и 114 использованных источника, 9 из которых иностранные.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении представлена общая характеристика работы, сформулированы цель и задачи исследования, научная новизна, научные положения, выносимые на защиту, теоретическая и практическая значимость научных исследований, а также опытно-производственная проверка полученных результатов и их внедрение.

В первой главе проведен анализ конструкций кусторезов, который указал на предпочтение использования шарнирно-сочлененной рамы и шарнирно-сочлененного рабочего органа при проектировании кустореза, т.к. такая конструкция рамы расширяет область применения (работа на склонах), а ножи ротора обладают возможностью отклонения от непреодолимых препятствий.

Во второй главе представлена методика имитационного моделирования динамических систем в программном комплексе MATLAB. На примере рассматриваемого нами кустореза постановка задачи выглядит следующим образом.

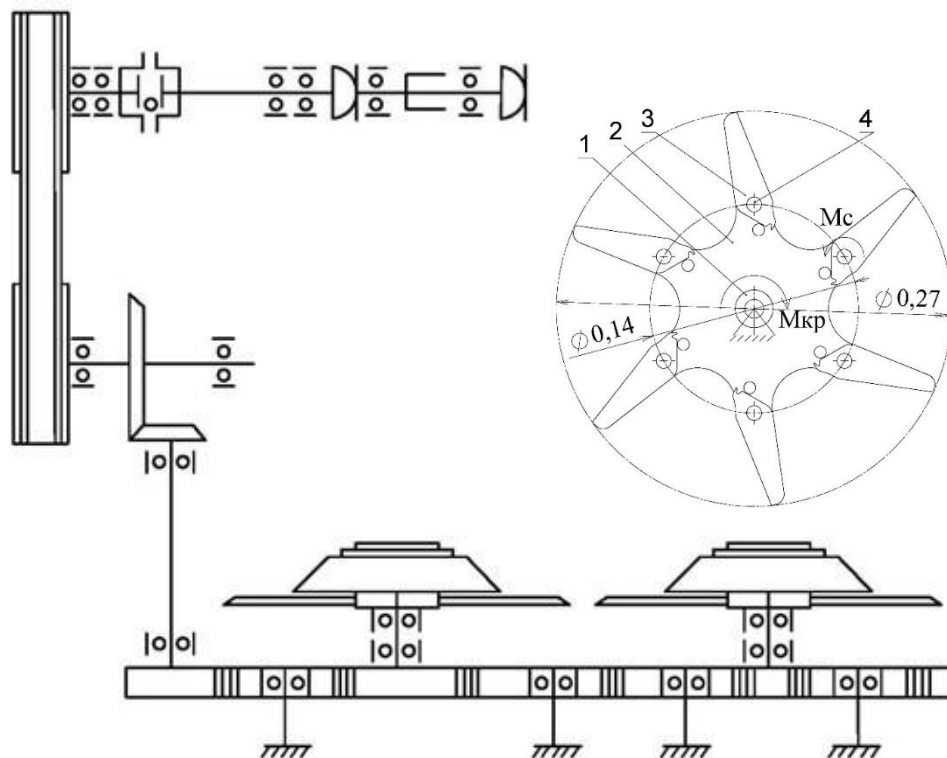
1. Используя современные средства автоматизированного проектирования САПР Solidworks, мы проектируем детали механизма, собираем их в сборки, указывая геометрические параметры, массу и сопряжения звеньев.

2. С помощью приложения MotionSolidworks указываем направление силы тяжести, движители и расставляем датчики, после чего проводим компьютерный эксперимент и получаем параметры функционирования модели механизма.

3. Для более подробного исследования кинематики и динамики кустореза конвертируем модель из Solidworks в MATLABSimulink. В этом случае модель будет представлена в виде блоков, которые содержат информацию о деталях (их

геометрические параметры, массу, расположение в пространстве и пр.). Моделирование системы будет происходить на основе законов кинематики, физики и механики, которые будут заданы дифференциальными уравнениями, но не в их классическом виде, а в виде диаграммы блоков.

4. На основании разработанной имитационной модели в MATLABSimulink проводим компьютерный эксперимент и используем полученные результаты для анализа и определения



- 1 – неподвижная ось ротора; 2 – маховик ротора; 3 – нож ротора;
4 – втулка крепления ножа ротора

Рисунок 1 – Компоновочно-кинематическая схема привода кустореза с шарнирно-сочлененными рабочими органами

В результате патентного поиска за прототип конструкции нами был выбран патент № EP0337909A1. В результате структурного анализа механизма были выделены его основные звенья и составлена компоновочно-кинематическая схема (рис. 1). Кусторез навешивается на заднюю навеску трактора, приводится во вращение от вала отбора мощности через ременные и коническую передачи.

В третьей главе дано обоснование конструкции роторного кустореза. В результате патентного поиска за прототип конструкции нами был выбран патент № EP0337909A1. В результате структурного анализа механизма были выделены его основные звенья и составлена кинематическая схема.

На основе компоновочно-кинематической схемы разработана имитационная модель взаимодействия рабочих органов (рис. 2) и отдельно имитационная модель ротора с шарнирно-сочлененными ножами (рис. 3), выявлены теоретические зависимости, полученные в результате компьютерного эксперимента.

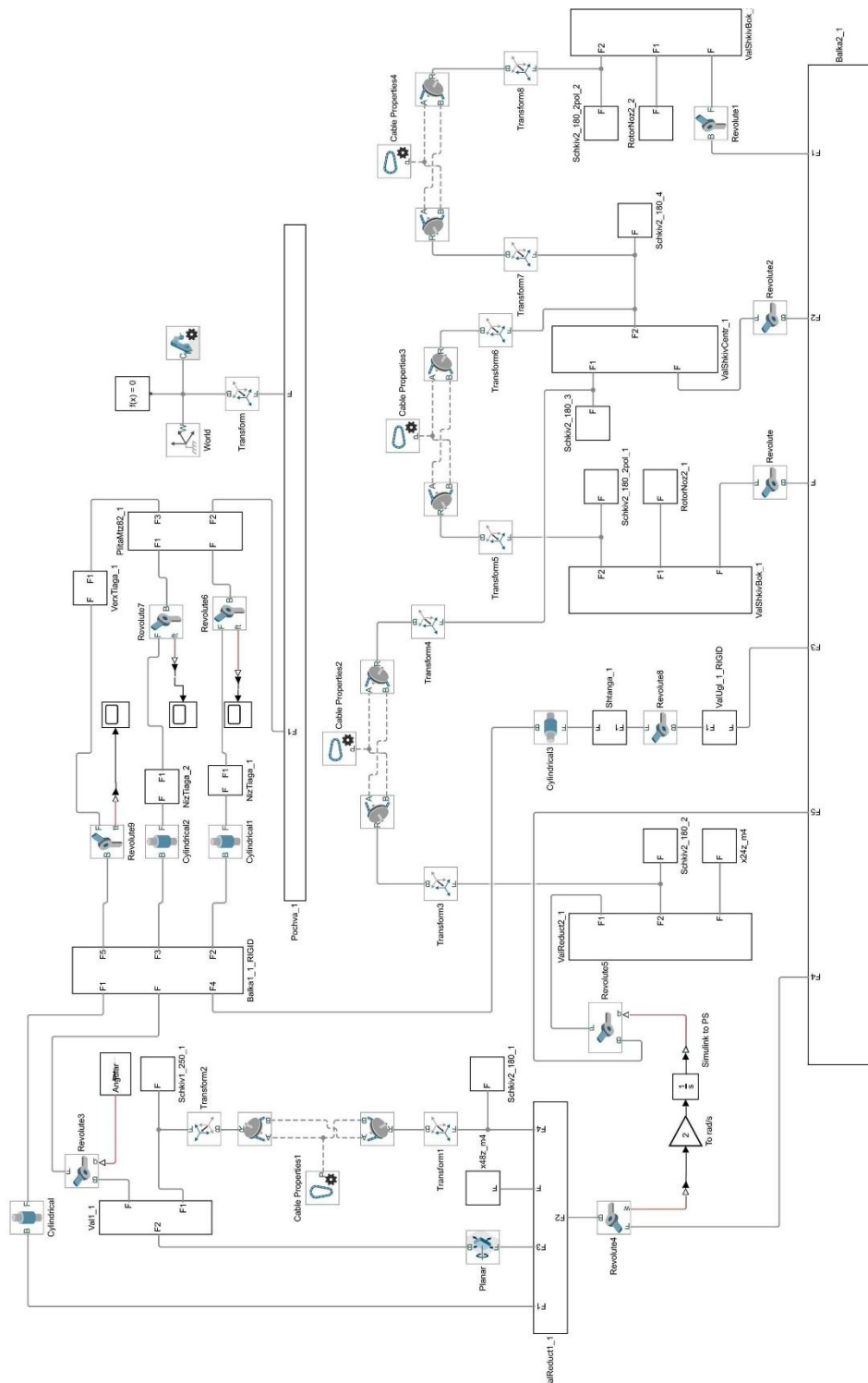


Рисунок 2 – Визуальная форма модели рамы кустореза в приложении Simulink пакета MATLAB

При проведении вычислительного эксперимента для движения кустореза установим постоянную скорость подачи в кинематической паре между почвой и плитой вдоль оси OY равной $0,1$ м/с. Для имитации движения по неровной поверхности зададим вращение в кинематической паре между почвой и плитой с угловой скоростью 2 рад/с. Умножим это значение на сигнал, показанный на рисунке 4. После чего, проинтегрировав, получим значения изменения координат X, Y, Z шарнира $NizTiaga_1$ (рис.5).

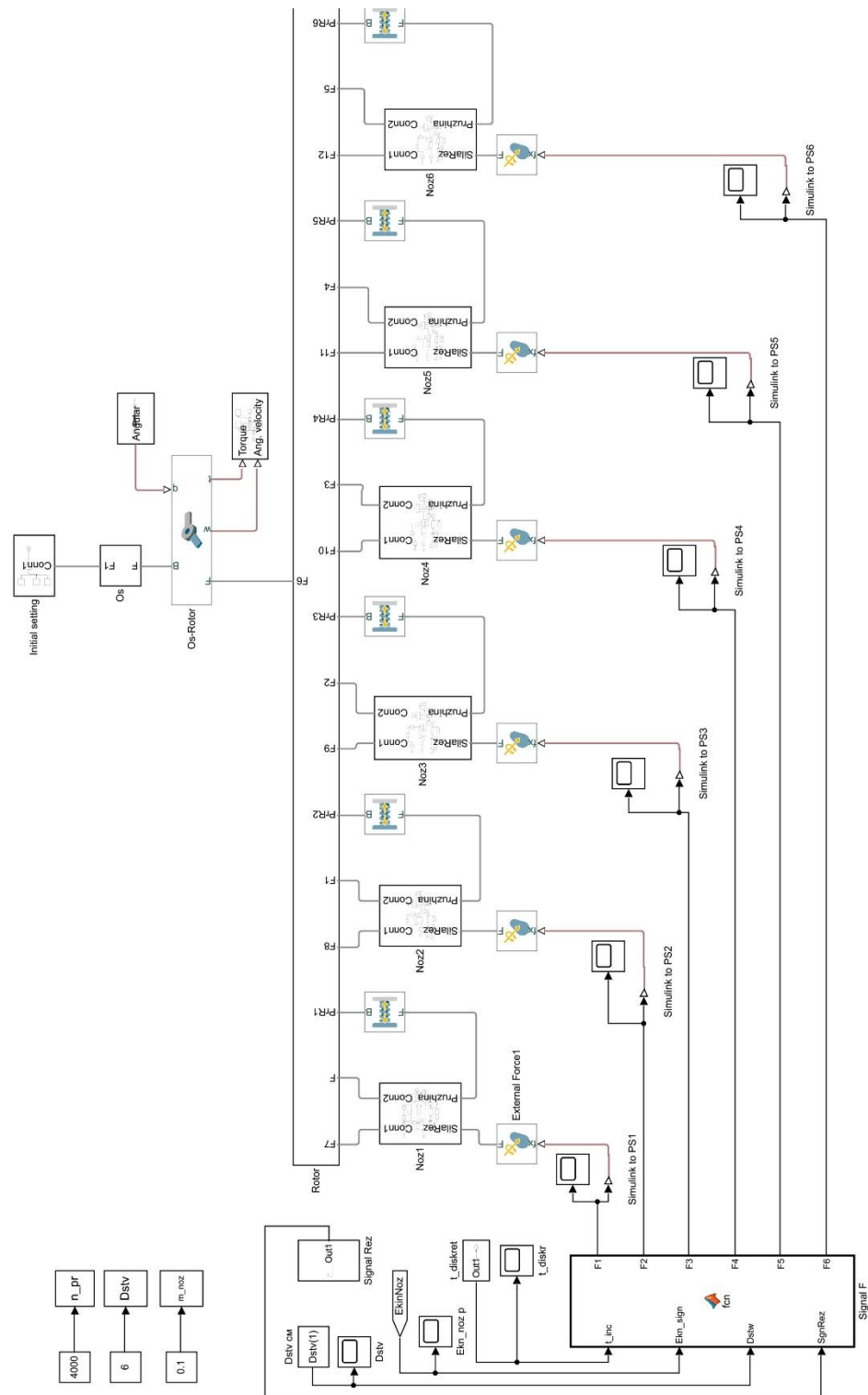


Рисунок 3 – Визуальная форма модели ротора с шестью лезвиями в среде Simulink MATLAB

На этом рисунке видно, что тяга движется на постоянном расстоянии 0,5 м по оси OX в диапазоне времени с 6 по 14 секундытяга перемещается вниз и возвращается обратно в соответствии с поворотом плиты заданным сигналом и увеличивает перемещение по оси OY, т.к. трактор движется поступательно вперед.

Объединяя полученные данные по координатам шарниров тяги и крайних точек ножей рабочего органа, построим вид сверху (рис.6 а) и вид сзади (рис.6 б).

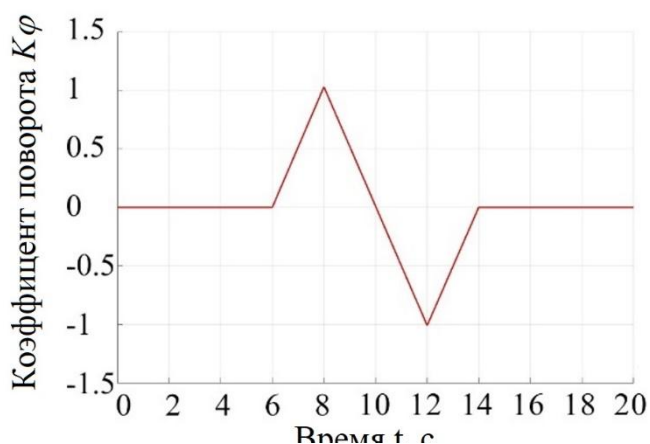


Рисунок 4 – Входной сигнал для расчета поворота плиты

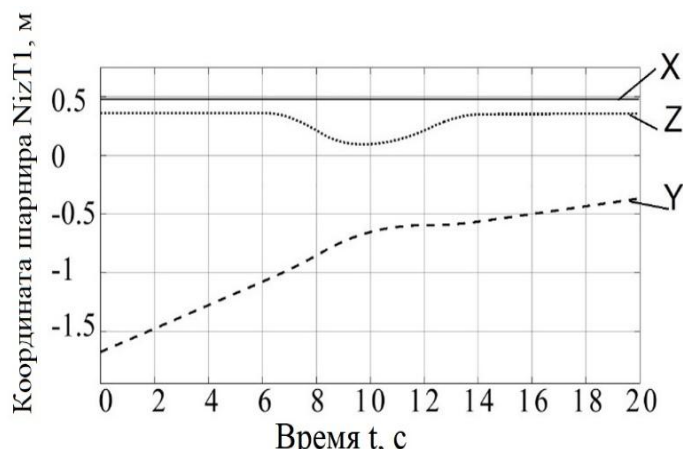
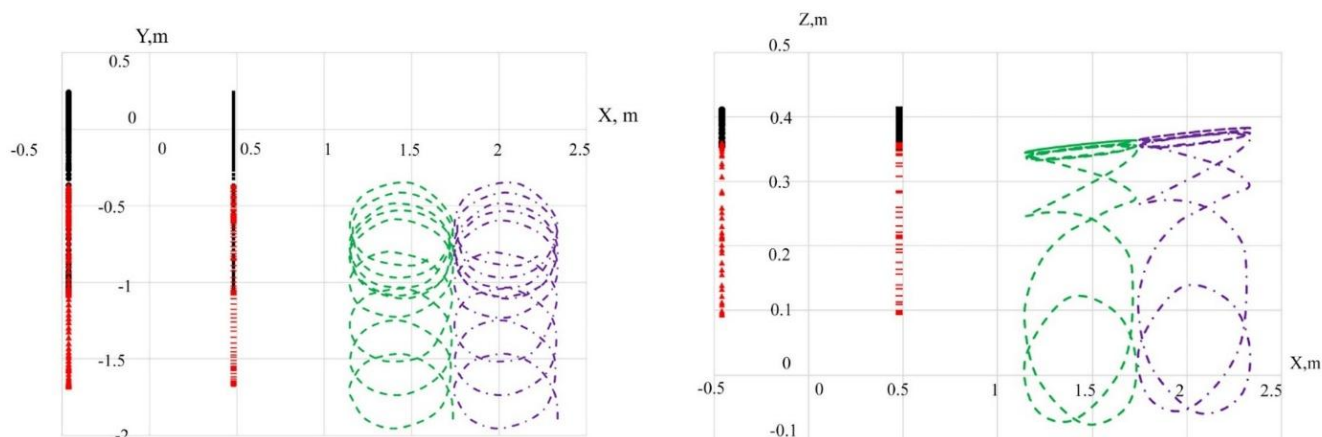


Рисунок 5 – Изменение координат X, Y, Z шарнира NizTiaga_1

С каждой точки звеньев рабочего органа в результате проведения имитационного эксперимента мы можем получить координаты x , y , z . В качестве примера на рисунке б а показано изменение координат нижней тяги в шарнире F.



а) б)

а- вид сверху, б – вид сзади

Рисунок 6 – Изменение координат X и Y шарниров F, F₁, F₂, F₃ двухнижних тяг сцепного устройства и двух крайних точек ножей

Из рисунка 6 следует, что координаты шарниров нижних тяг, находящихся у плиты при её повороте, перемещаются на величину 0,1 м, а координаты шарниров, соединяющих навеску с рамой кустореза, перемещаются на величину 0,3 м. Два рабочих органа с ножами при развороте рамы в результате имитации неровности почвы перемещаются с высоты 0,4 м над уровнем почвы до высоты -0,5 м, т.е. будут входить в землю, что недопустимо. Таким образом, зная условия работы, можно заранее смоделировать движение звеньев механизма и при необходимости изменить его конструкцию.

Проведенный динамический анализ в SolidworksMotion подтверждает результаты, полученные с помощью MATLABSimulink

На основании имитационной модели ротора, выполненной в MATLABSimulink, мы получили величины затрат мощности(Вт) от сил сопротивления резания для заданного режима работы (рис.7).

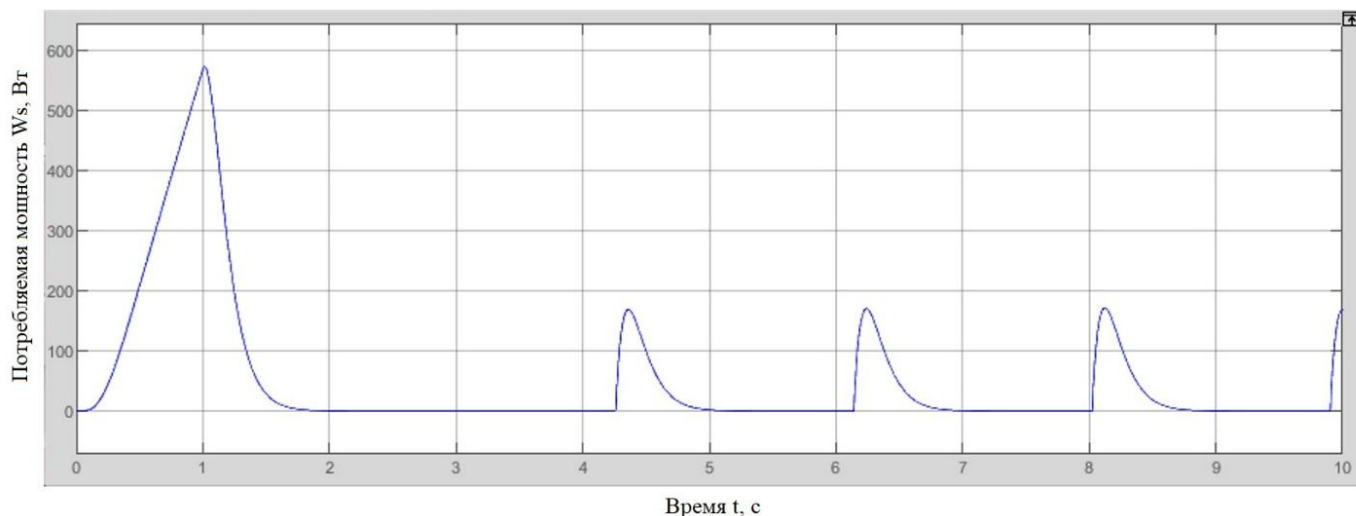
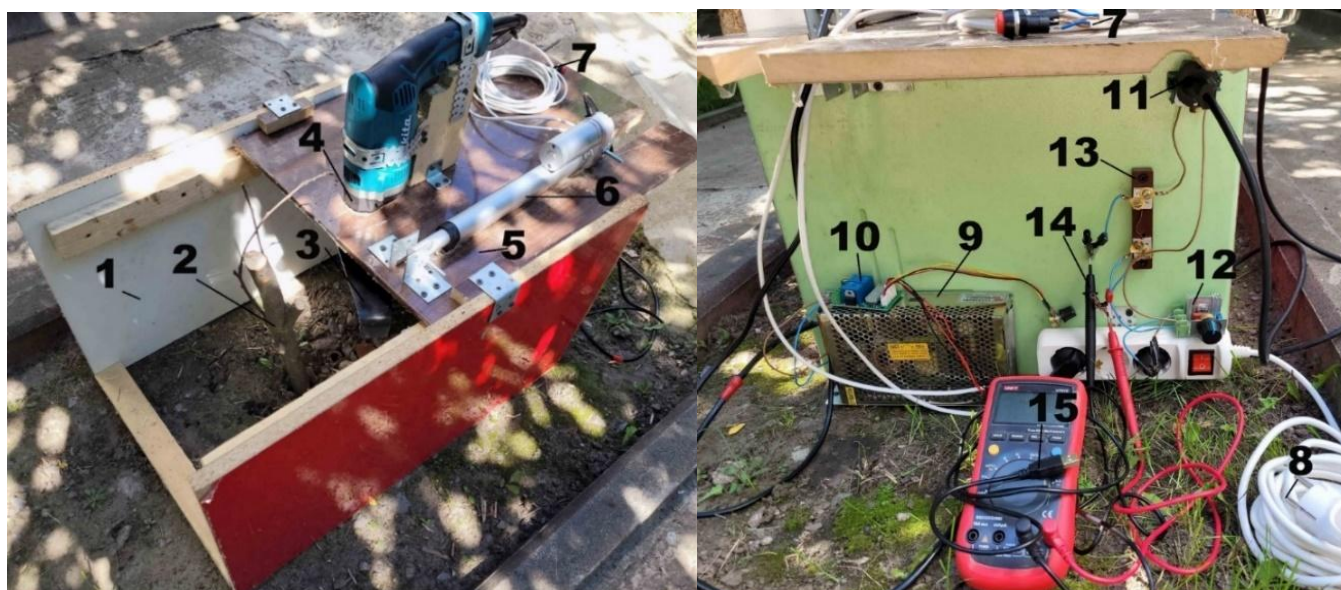


Рисунок 7–Затраты мощности на роторе, рассчитанные в MATLAB для разработанной имитационной модели

В первую секунду мы видим колебания крутящего момента сил сопротивления, связанные с резким набором оборотов и возникающей силой инерции ротора и ножей. Спустя две секунды система приходит в равновесное состояние и момент сопротивления близок к нулю.

В четвертой главе представлена методика и результаты лабораторных исследований. Перед созданием лабораторного стенда была выполнена печать его макета с помощью 3D принтера, далее были скорректированы размеры и изготовлен лабораторный стенд. Лабораторный стенд (рис. 8) включает в себя раму, 1 внутри которой зажимаются с помощью клиньев ветви 2 требуемого диаметра, срез которых происходит сменным рабочим органом 3, установленным на валу электродвигателя 4. В качестве двигателя использована дрель с мощностью 700 Вт и максимальной частотой вращения 3000 об/мин (Makita HP1630). Патрон дрели заменен и вместо него изготовлен фланец для крепления сменного рабочего органа. Характеристики линейного привода - максимальный ход 200 мм, создаваемое усилие 100 Н. Электропитание подается через удлинитель 8, к которому подключен блок питания 9, выдающий постоянный ток 12В поступающий через ШИМ контроллер 10 на линейный привод 6. К ШИМ контроллеру подключены две кнопки 7 соответствующие движению вперед и назад штока линейного электропривода, а также имеется ручка регулировки скорости подачи.

Электродвигатель 4 запитывается от розетки 11, которая через шунт 13 и регулятор напряжения 12 подсоединена к сети 220В посредством удлинителя 8. На контакты шунта 13 подсоединены щупы мультиметра 14, измеряющие напряжение. Измеренное напряжение каждые 0,5 с записывается через USB порт 15 на компьютер для последующего анализа. В качестве сменных рабочих органов использовали ножевой рабочий орган (на одном шарнире у вала), и шарнирно-сочлененный рабочий орган (шарнир у вала и три шарнира у лезвий на роторе).



а) б)
Рисунок 8– Лабораторный стенд вид спереди (а) и вид сзади (б)

Для определения мощности на основании измерения напряжения на шунте 75ШИП1-5-0.5, (5А 75мВ) используем закон Ома

$$P = U \cdot I = U_c \cdot \frac{U_m \cdot I_{ш}}{U_{ш}} = 110В \cdot \frac{14,17мВ \cdot 5А}{75мВ} = 103,913 \text{ Вт} \quad (1)$$

Известно, что работа численно равна площади от мощности. Для более наглядного представления мощности все значения были нормализованы к значениям на холостом ходу. Суммарное значение будет складываться из мощности на холостом ходу P_x , и нормализованной мощности резания $P_{норм}$. Для последующих графиков расчет работы проводился аналогично.

На рисунке 9 приведен фрагмент осциллограммы мощности для двух типов рабочих органов при резании ими на минимальных оборотах ($U_c=110В$) тонкой древесины диаметром $d=1$ см, влажностью $W=11\%$.

Работа резания для ножа составила $A_{нормНож1}=30,348$ Дж, для шарнирно-сочлененного лезвия $A_{нормЛезв1}=18,12$ Дж. В процессе резания нож расколол ветвь диаметром $d_b=1$ см, а лезвие постепенно внедрялось и срезполучается без раскола.

На рисунке 11 показана мощность резания, затрачиваемая на разгон роторов с ножевым и шарнирно-сочленённым лезвием на минимальных оборотах при напряжении $U_c=110$ В, и максимальных оборотов при напряжении $U_c=210В$.

Работа при разгоне в течении 5 с для ножа составила $A_{разг_нож_min}=709,313$ Дж, $A_{разг_нож_max}=1763,48$ Дж. Для шарнирно-сочлененного лезвия $A_{разг_лезв_min}=558,267$ Дж, $A_{разг_лезв_max}=1114,5$ Дж. Таким образом при разгоне на минимальных оборотах шарнирно-сочлененный рабочий орган тратит на 27% меньше работы чем ножевой, а на максимальных оборотах на 58% меньше чем ножевой. На основании рисунка 10 мы установили, что на холостом режиме работы уровень мощности составляет $P_{x_нож_min}=129Вт$, $P_{x_лезв_min}=118$ Вт $P_{x_нож_max}=287Вт$, $P_{x_лезв_max}=269Вт$.

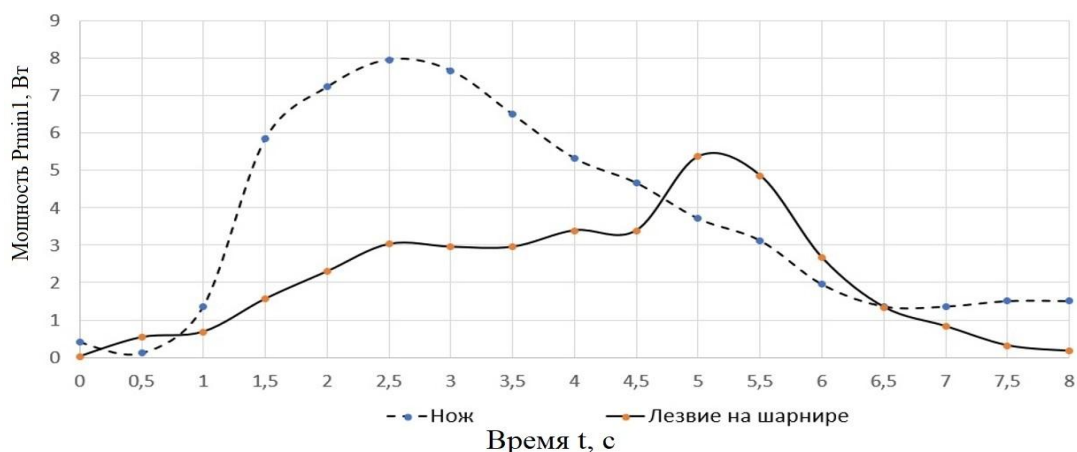


Рисунок 9– Мощность резания для режима $U_c=110В$, $d_v=1$ см, $W_v=11\%$.

Для получения результирующей работы с учетом данных мощностей и продолжительности времени для каждого графика перемножим попарно время и мощность и получим площадь определяющую работу резания.

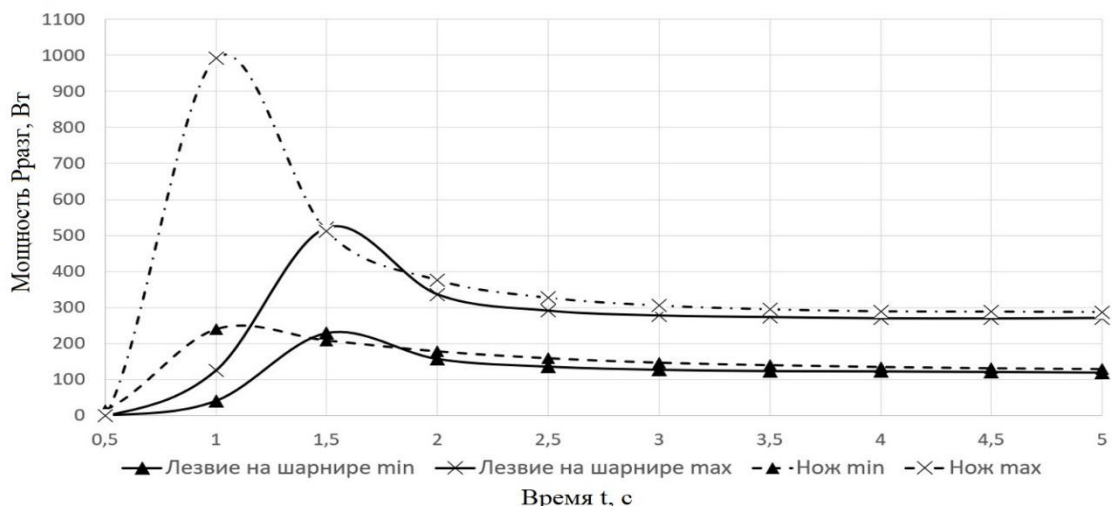


Рисунок 10– Мощность при разгоне $U_{c_min}=110В$, $U_{c_max}=210В$ ножевогои шарнирно-сочлененного (лезвие) рабочих органов

Для каждого режима резания было проведено 9 опытов и рассчитаны работы резания. На основании расчета установлено, что при срезании отдельных ветвей у шарнирно-сочлененного и ножевого рабочих органов затраты работы отличаются на величину 5 - 10%, это связано с тем, что из накопленной силы инерции расходуется малая часть и ротор быстро его восполняет. В случае постоянного расхода, когда режущий элемент ударяет о ветвь, но не может её срезать и снова ударяет, разница работы резания между ножевым и шарнирно-сочлененными рабочими органами достигает 43%.

На основании расчета установлено, что при разгоне на минимальных оборотах для напряжения сети $U_c=110В$ рабочий орган с ножом расходует на 27% больше энергии, а при максимальных оборотах для $U_c=210В$ нож расходует на 54% больше работы.

В пятой главе производился детальный анализ работы ротора кустореза, что позволило определить его производительность. Полученные результаты использовались в качестве основы для технико-экономического обоснования и оценки эффективности проектируемого образца кустореза. Экономический эффект от применения нового кустореза составил 234964,8 рублей при сроке окупаемости 0,08 года.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

1. Проведенный анализ конструкций указывает на предпочтение использования шарнирно-сочлененной рамы и шарнирно-сочлененного рабочего органа при проектировании кустореза, т.к. такая конструкция рамы расширяет область применения (работа на склонах), а ножи ротора обладают возможностью отклонения от непреодолимых препятствий.

2. Обзор теоретических исследований показал значительную проработку отдельных вопросов теории касаво сил резания кинематики и динамики, но исследования не сведены в единой математической среде, и потому их применение вызывает значительные сложности у инженеров. Повышение эффективности работы кустореза возможно, при применении нового шарнирно-сочлененного рабочего органа (патент №212494).

3. Предлагаемые этапы постановки задачи имитационного моделирования с использованием САПР Solidworks и ПО MATLAB Simulink позволят инженерам, не изучая большой перечень программ и языков программирования, решить задачу по проектированию и обоснованию параметров разрабатываемых конструкций машин.

4. Проведенный компьютерный эксперимент позволил рассчитать траектории тяг навески и двух ножей на роторах кусторезов. Траектории наглядно демонстрируют ширину захвата рабочих органов, движение рамы навески и колебания этих звеньев под воздействием возмущающих нагрузок, имитирующих неровности почвы. Разработанная в MATLAB имитационная модель физических процессов работы рамы и ротора кустореза позволила получить параметры функционирования машины. Определена рабочая зона резания – 0,26 м, и траектории движения ножа при воздействии на него сил резания в диапазоне от 0,8 до 20 Н·м. Рассмотрено и показано положительное влияние пружины и демпфера на снижение колебаний ножа и предотвращение его вращения вокруг своей оси на 360°.

5. При срезании отдельных порослевин у шарнирно-сочлененного рабочего органа затраты работы меньше на величину 5-10 % чем у ножевого. Работа резания отдельно стоящих порослевин на минимальных оборотах у обоих рабочих органов находится в пределах 960- 1062 Дж, а на максимальных оборотах в пределах 1600 - 2500 Дж. При постоянной нагрузке на минимальных оборотах работа резания для ножа составляет 3552,11 Дж, а для шарнирно-сочлененного рабочего органа меньше на 42,9 % и составляет 2027,32 Дж. При разгоне пиковые значения мощности резания составляют $P_{\text{пикНож_min}}=239$ Вт, $P_{\text{пикЛезв_min}}=208$ Вт, $P_{\text{пикНож_max}}=991$ Вт, $P_{\text{пикЛезв_max}}=511$ Вт, при этом работа на разгон шарнирно-сочлененного рабочего органа в сравнении с ножевым до минимальных оборотов меньше на 27 %, а до максимальных оборотов меньше на 58 %.

6. При резании ротором с ножевым рабочим органом, как правило, происходит раскол места среза, что связано с изогнутой формой на конце лезвия. При резании шарнирно-сочлененным рабочим органом срез гладкий, но при диаметрах порослевин 2-3 см происходит зажим лезвия и повышенные затраты энергии. Для предлагаемого кустореза оптимальным является скорость подачи $V_n=1,25$ м/с, частота вращения роторов 2600 об/мин при радиусе ротора $R_p=0,19$ м, массе $m_p=1,25$ кг и количестве роторов на раме $K_{рот}=3$ шт.

7. При анализе технологических схем (с последовательным выполнением основных технологических операций) работы базовой модели кустореза и проектируемой модели кустореза использована методология функционального моделирования, рекомендованная российским национальным стандартом Р 50.1.028-2001. Применение нового кустореза с шарнирно-сочлененным рабочим органом для осветления лесных культур позволяет повысить производительность орудия: часовая – на 0,16 пог. км; сменная – на 1,23 пог. км; годовая – на 86,1 пог. км. Экономический эффект от применения нового кустореза составил 234964,8 рублей при сроке окупаемости 0,08 года.

Список работ, опубликованных автором по теме диссертации

В рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК Минобрнауки РФ

1. Бартенев, И.М. Имитационная модель обрезчика ветвей в САПР / И. М. Бартенев, Л. Д. Бухтояров, В. П. Попиков, А. В. Придворова // Лесотехнический журнал. – 2020. – Т. 10, № 1(37). – С. 153-160. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2020.1/20.

2. Драпалюк, М.В. Изучение мощностных показателей и качества среза шарнирно-сочлененным и ножевым рабочими органами роторного кустореза / М. В. Драпалюк, Л. Д. Бухтояров, О. А. Куницкая, А.В. Прокудина, О.И. Григорьева, Д.В. Отмахов // Системы. Методы. Технологии. – 2023. – № 2(58). – С. 7-13. – DOI 10.18324/2077-5415-2023-2-7-13

3. Драпалюк, М. В. Имитационная модель ротора кустореза с шестью лезвиями / М. В. Драпалюк, Л. Д. Бухтояров, А. В. Придворова // Лесотехнический журнал. – 2021. – Т. 11. – № 3(43). – С. 121-129. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2021.3/10.

4. Драпалюк, М. В. Результаты исследований процесса резания ветвей ротором с шарнирно-сочлененными и жестко установленными лезвиями / М. В. Драпалюк, Л. Д. Бухтояров, А. В. Прокудина // Лесотехнический журнал. – 2022. – Т. 12. – № 2(46). – С. 80-88. – DOI 10.34220/issn.2222-7962/2022.2/7.

5. Bukhtoyarov, L. D. Simulation of the movement of hedge cutter links in the Simulink application of the Matlab package / L. D. Bukhtoyarov, M. V. Drapalyuk, A. V. Pridvorova // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, Voronezh, 09–10 сентября 2021 года. – Voronezh, 2021. – P. 12004. – DOI 10.1088/1755-1315/875/1/012004.

В патентах, свидетельствах о государственной регистрации

6. Патент на полезную модель № 212494 U1 Российская Федерация, МПК А01G 23/06, А01D 34/412. Ротор кустореза : № 2022108223 : заявл. 29.03.2022 : опубл. 26.07.2022 / Л. Д. Бухтояров, М. В. Драпалюк, А. В. Прокудина ; заявитель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего

образования «Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф.Морозова».

В сборниках научных трудов и материалах конференций

7. Драпалюк, М. В. 3D модель стенда для изучения процесса резания ветвей и цифровые средства для снятия показаний / М. В. Драпалюк, Л. Д. Бухтояров, А. В. Прокудина // Цифровые технологии в лесной отрасли : материалы Всероссийской научно-практической конференции, Воронеж, 19–20 мая 2022 года. – Воронеж: Воронежский государственный лесотехнический университет им. Г.Ф. Морозова, 2022. – С. 115-118. – DOI 10.34220/DTFI2022_115-118.

8. Драпалюк, М. В. Методика формирования входных воздействий и алгоритм расчета силы, необходимой для резания на роторе кустореза / М. В. Драпалюк, Л. Д. Бухтояров, А. В. Придворова // Энергоэффективность и энергосбережение в современном производстве и обществе : Материалы международной научно-практической конференции, Воронеж, 08–09 июня 2021 года. Том Часть I. – Воронеж: Воронежский государственный аграрный университет им. Императора Петра I, 2021. – С. 345-349. eLIBRARYID: 47155572

9. Драпалюк, М. В. О методике моделирования динамических систем лесных машин с помощью программного комплекса Simulink MATLAB / М. В. Драпалюк, Л. Д. Бухтояров, А. В. Придворова // Повышение эффективности лесного комплекса: Материалы Седьмой Всероссийской национальной научно-практической конференции с международным участием, Петрозаводск, 25 мая 2021 года. – Петрозаводск: Петрозаводский государственный университет, 2021. – С. 53-54. eLIBRARY ID: 47156084

10. Драпалюк, М. В. Связь типа рабочего органа кустореза с возможностью резания древесно-кустарниковой растительности / М. В. Драпалюк, Л. Д. Бухтояров, А. В. Придворова // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика. – 2020. – Т. 8, № 2(49). – С. 12-16. – DOI 10.34220/2308-8877-2020-8-2-12-16.

11. Придворова, А. В. Обзор и анализ литературы и учебных пособий, положивших начало дереворезанию и удалению древесно-кустарниковой растительности / А. В. Придворова // Всероссийский форум молодых исследователей : Сборник статей III Всероссийской научно-практической конференции, Петрозаводск, 25 марта 2021 года. – Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука» (ИП Ивановская Ирина Игоревна), 2021. – С. 214-218.

Просим Ваши отзывы на автореферат с заверенными подписями высылать в двух экземплярах по адресу 394087, г. Воронеж, ул. Тимирязева, 8, ВГЛТУ, ученому секретарю

Подписано к печати

Формат 60×90 1/16. Объем 1 п.л. Тираж 100 экз. Заказ...

Отпечатано в УОП ФГБОУ ВО «ВГЛТУ»

394087, г. Воронеж, ул. Докучаева, 10