

**ФЕТЯЕВ Алексей Николаевич**

**ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ  
ЗАГРУЗОЧНОГО УСТРОЙСТВА ДИСКОВОЙ  
РУБИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ**

05.21.01 – Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Екатеринбург 2017

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Работа выполнена в Федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И. Вавилова» (ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ)

Научный руководитель: **Фокин Сергей Владимирович**

доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И.Вавилова», заведующий кафедрой лесного хозяйства и лесомелиорации

Официальные оппоненты: **Куницкая Ольга Анатольевна**

доктор технических наук, доцент, ФГБОУ ВО «Санкт-Петербургский государственный лесотехнический университет им. С. М. Кирова», доцент кафедры лесозаготовительных производств

**Василевский Дмитрий Андреевич**

кандидат технических наук, начальник производственно-технического отдела ООО «Строительная компания “Флатирон”, г. Екатеринбург

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Петрозаводский государственный университет» (ФГБОУ ВО ПетрГУ)

Защита состоится «11» мая 2017 г. в 10.00 на заседании диссертационного совета Д.212.281.02 при ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» по адресу: 620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт, 37, к. 401

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке и на сайте ФГБОУ ВО «Уральский государственный лесотехнический университет» ([www.usfeu.ru](http://www.usfeu.ru)).

Автореферат разослан «3» апреля 2017г.

Ученый секретарь диссертационного совета, доктор технических наук, доцент

Шишкина Елена Евгеньевна

*A-18217*

**Актуальность темы.** Рациональное использование лесных ресурсов является одной из важных задач, которые решает лесопромышленный комплекс России. Комплексное использование древесного сырья, большую часть которого составляют отходы лесозаготовок, является основным резервом повышения эффективности, как малых и средних предприятий, так и крупных лесопромышленных холдингов, поскольку отходы лесозаготовок рассматриваются в виде ценного вторичного сырья, в структуре которого имеются носители уникальных потребительских свойств. Отходы лесозаготовительных работ составляют 21% от всей массы древесины и около 14% запаса лесосечного фонда.

Применяемые в настоящее время технологические процессы производства и потребления отличаются низким уровнем замкнутости. Поэтому только 5-10% сырьевых материалов переходит в конечную продукцию, а 90-95% превращается в отходы.

В современной России создан широкий ассортимент отечественной техники для нужд биоэнергетики, в том числе и недавно построенные мини-ТЭЦ, оснащенные высокотехнологичным оборудованием, способным сжигать сырье практически любой влажности и зольности, в том числе и щепу из порубочных остатков.

Но несмотря на то, что стоимость самого сырья на лесосеке практически равна нулю, большие затраты приходится нести на сбор, доставку и измельчение порубочных остатков. Производительность техники падает в полтора раза по сравнению с использованием круглого леса, что приводит к дополнительным затратам. Поэтому необходима разработка технологического оборудования, повышающая эффективность рабочего процесса переработки отходов лесосечных работ.

Основной операцией при переработке древесных отходов на щепу является их измельчение. При выполнении данной технологической операции в условиях лесосеки наибольшее распространение получили дисковые рубительные машины. Широкий спектр разнообразия, применяемых машин данного типа свидетельствует об универсальности используемых конструктивных схем, которым свойственны: маневренность, высокая производительность и компактность.

Однако практически во всех конструкциях дисковых рубительных машин при обеспечении переработки древесных отходов отсутствует механизированная загрузка сырья в загрузочный патрон. Данний факт значительно снижает производительность работы дисковых рубительных машин, что сказывается на стоимости конечного продукта переработки отходов лесосечных работ.

Разработка дисковой рубительной машины, оснащенной новой конструкцией загрузочного ковша требует теоретических и экспериментальных исследований, направленных на обоснование его конструктивных и технологических параметров, обеспечивающих высокоэффективный процесс механизированной загрузки отходов лесосечных работ в загрузочный патрон.

Внедрение данного типа оборудование в производственный процесс производства энергетического продукта из отходов лесосечных работ является одним из путей повышения производительность работы дисковых рубительных машин-

при производстве топливной щепы в условиях лесосеки, позволяя решать проблему повышения эффективности деятельности лесного комплекса РФ.

Работа выполнена в соответствии с приоритетным научным направлением ФГБОУ ВО СГАУ им. Н.И. Вавилова «Модернизация инженерно-технического обеспечения АПК» (регистрационный номер 01201151795) и государственным контрактом на выполнение подрядных работ для государственных нужд № 1731а/20 от 12 октября 2014 года «Разработка современных технологий ускоренного восстановления продуктивности выбывших из оборота сельскохозяйственных угодий, опустыненных пастбищ и сенокосов, комплексными методами проведения инновационных приемов по био- и фитомелиорации и агролесомелиорации».

Таким образом, исследования, направленные на обоснование конструктивных и технологических параметров загрузочного ковша дисковой рубительной машины является актуальной задачей.

**Степень разработанности темы.** Вопросам совершенствования конструктивных схем машин и технологического оборудования для загрузки древесных отходов в зону измельчения рубительной машины с целью сохранения их работоспособности при широком диапазоне параметров измельчаемого сырья посвящены работы Андреева А.А., Доспеховой Н.А., Добрачевой А.А., Тарко Л. М., Баринова К.П., Милютникова В.Ю., Кашубы С.М. , Турулай И.В., Питеева В.Г., Санниковой А.А., Михина Н.М., Фокина С.В., Бурлакова А.С. и др.

Проведенный анализ научных исследований, посвященных эффективности обеспечения загрузки древесного сырья в рубительные машины различными типами технологического оборудования показал, что авторами не изучался процесс загрузки сырья в виде порубочных остатков в зону рубки не изучался. Были попытки описать рабочий процесс загрузки древесных отходов при помощи корректирующих коэффициентов, применение которых было экспериментально не подтверждено.

Поэтому необходимо проведение научных исследований направленных на изучение рабочего процесса загрузки порубочных остатков в дисковую рубительную машину с обоснованием конструктивно-технологических параметров необходимого для этого технологического оборудования.

**Цель и задачи исследования.** Целью диссертационной работы является повышение эффективности рабочего процесса загрузки порубочных остатков в дисковых рубительных машинах путем обоснования параметров необходимого для этого технологического оборудования.

В соответствии с поставленной целью решаются следующие задачи:

1. Обосновать рабочий процесс взаимодействия конструктивных элементов технологического оборудования для загрузки порубочных остатков с транспортируемым древесным сырьем.

2. Разработать математические модели рабочего процесса загрузки древесных отходов при помощи загрузочного устройства в дисковой рубительной машине и определить влияние конструктивных параметров механизма загрузки на эффективность работы машины для измельчения порубочных остатков.

3. В лабораторных условиях исследовать конструктивно-технологические параметры загрузочного устройства, влияющих на характеристики рабочего про-

цесса загрузки порубочных остатков в дисковую рубительную машину.

4. Определить технико-экономические показатели работы опытного образца машины для измельчения порубочных остатков, оснащенных новой конструкцией загрузочного устройства.

5. Определить экономическую эффективность от применения машины для измельчения порубочных остатков, оснащенных новой конструкцией загрузочного устройства.

## Научная новизна работы:

1) разработано новое техническое решение процесса механизированной загрузки порубочных остатков, отличающегося возможностью загрузки древесного сырья, имеющего различные геометрические параметры, в дисковую рубительную машину, производимую за счет загрузочного устройства, имеющего связанные между собой шарниром нижнюю платформу со стреловидными захватами и верхнюю платформу с наклонными стенками, оснащенной много звеньевой системой подъема устройства (патент РФ на изобретение № 2424896 и полезная модель № 158569);

2) разработана математическая модель рабочего процесса загрузки отходов лесосечных работ новым загрузочным ковшом, отличающаяся учетом геометрических параметров пакета порубочных остатков при его загрузке в дисковую рубительную машину;

3) установлены аналитические зависимости определения основных конструктивных параметров и режимов работы нового загрузочного устройства, отличающиеся учетом их влияния на эффективность рабочего процесса загрузки и измельчения порубочных остатков дисковой рубительной машиной;

4) выявлены математические зависимости технических характеристик процесса загрузки и измельчения порубочных остатков дисковой рубительной машиной от конструктивно-технологических параметров нового загрузочного устройства, отличающиеся учетом влияния на рабочий процесс получения щепы кинематических параметров загрузочного устройства и гидросистемы.

**Теоретическая и практическая значимость работы** заключается в результатах исследования механических свойств пакета порубочных остатков при его загрузке в дисковую рубительную машину, учете влияния основных конструктивных параметров и режимов работы нового загрузочного устройства, на эффективность рабочего процесса загрузки и измельчения порубочных остатков дисковой рубительной машиной, в установленных зависимостях влияния на рабочий процесс получения щепы дисковой рубительной машиной кинематических параметров загрузочного устройства и гидросистемы.

Практическая значимость работы состоит в разработке новой конструктивно-технологической схемы дисковой рубительной машины для измельчения порубочных остатков, рекомендациях по выбору основных параметров загрузочного устройства и процесса загрузки порубочных остатков в дисковую рубительную машину. Результаты внедрены в ГКУ СО «Заволжские лесничества», в учебный процесс ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет». Разработанная машина для измельчения порубочных остатков экспонировалась на XIY Российской агропромышленной выставке «Золотая осень» Российская агропромышленная осень ( г. Москва, 11 – 14 октября 2012 г.)

**Методология и методы исследования.** Теоретические исследования были проведены на базе имитационного моделирования и разработки математической модели технологического процесса загрузки порубочных остатков в дисковую рубительную машину с применением положений классической динамики (методов динамики частиц и конечных элементов). Решение систем дифференциальных уравнений проводилось при помощи численного интегрирования на ЭВМ. Проведение экспериментальных исследований осуществлялось с применением теории планирования и общепринятой методики обработки экспериментальных данных.

**Объект и предмет исследования.** Объектом исследования являются конструкция машины для измельчения порубочных остатков и рабочий процесс загрузки порубочных остатков в дисковую рубительную машину. Предметом исследования являются конструктивные и технологические параметры загрузочного устройства и основные параметры рабочего процесса загрузки порубочных остатков в дисковую рубительную машину.

**Соответствие диссертации паспорту научной специальности.** Научные результаты, полученные при проведении исследований, соответствуют п. 5 «Обоснование и оптимизация параметров и режимов работы лесозаготовительных и лесохозяйственных машин» паспорта специальности 05.21.01 – Технология и машины лесозаготовок и лесного хозяйства.

### Научные положения, выносимые на защиту:

1) новое техническое решение процесса механизированной загрузки порубочных остатков, имеющего возможность загружать древесное сырье, имеющего различные геометрические параметры, в дисковую рубительную машину;

2) математическая модель рабочего процесса загрузки отходов лесосечных работ новым загрузочным устройством, позволяющая учитывать геометрические параметры пакета порубочных остатков при его загрузке в дисковую рубительную машину;

3) аналитические зависимости определения основных конструктивных параметров и режимов работы нового загрузочного устройства, позволяющие определить влияния на эффективность рабочего процесса загрузки и измельчения порубочных остатков дисковой рубительной машиной;

4) математические зависимости технических характеристик процесса загрузки и измельчения порубочных остатков дисковой рубительной машиной от конструктивно-технологических параметров нового загрузочного устройства, позволяющие учитывать влияние кинематических параметров загрузочного устройства и гидросистемы на рабочий процесс получения щепы.

**Степень достоверности и апробация результатов.** Достоверность научных положений, выводов и рекомендаций обоснована теоретически и доказана лабораторными и полевыми исследованиями, проверкой опытного образца дисковой рубительной машины, оснащенной загрузочным устройством, в условиях вырубок, статистической обработкой результатов экспериментов.

Диссертационная работа выполнена на кафедре «Лесное хозяйство и лесомелиорация» ФГБОУ ВО «Саратовский государственный аграрный университет им. Н.И.Вавилова» в 2010–2016 гг.

Основные положения диссертационной работы докладывались на научных конференциях профессорско-преподавательского состава Саратовского государ-

ственного аграрного университета им. Н.И. Вавилова(2010–2015 гг.), международной научно-практической конференции «Вавиловские чтения» (г. Саратов, 2009- 2010 г.г.), международной научно-практической конференции«Наука и образование в XXI веке»(г. Тамбов, 2013.г.), международной научно-практической конференции «Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика»(г. Воронеж, 2014, 2015 г.г.), международной научно-практической конференции «Проблемы природоохранной организации ландшафтов» (г. Ново-черкасск, 2015 г.)

**Личный вклад автора** заключается в постановке цели и задач исследований, планировании и проведении экспериментов, разработке конструкций лабораторной и полевой установок, выполнении вычислительных операций, анализе результатов работы, подготовке основных публикаций по теме исследования.

**Публикации.** Основные результаты исследований опубликованы в 17 работах, включая 4 публикации в изданиях, рекомендованных ВАК, 2 патента на изобретение и полезную модель, свидетельство о государственной регистрации программ для ЭВМ.

**Структура диссертации.** Диссертация состоит из введения, пяти глав, заключения, списка литературы и приложений. Общий объем работы 230 страниц текста, из них основного текста 188 страниц. Работа включает 85 рисунков, 54 таблицы и 119 использованных литературных источников, 17 из которых являются иностранными.

## СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** представлена актуальность исследований, сформулированы цель, задачи работы и выносимые на защиту научные положения, показаны новизна и значимость научных исследований, результаты внедрения.

**В первой главе** дан анализ видов отходов лесосечных работ и технологий получения топливной щепы, рассмотрены конструктивных решения загрузки отходов лесосечных работ в мобильные рубительные машины для измельчения древесины, проведен обзор технических средств для загрузки отходов лесосечных работ в рубительные машины, исследованы научные труды в области процесса загрузки древесного сырья в рубительные машины.

На основе проведенного анализа научно-исследовательских работ установлено, что применяемые на практике технологии измельчения лесосечных отходов для получения топливной щепы предполагают применение мобильных рубительных машин, отличающихся высокой производительностью и маневренностью, что особенно ценно в условиях значительной разрозненности местоположения лесосек. При этом необходима разработка конструктивной схемы устройства, позволяющего размещать древесные отходы у входного окна загрузочного патрона с учетом габаритов элементов измельчаемого сырья, а так же снижения энергоемкости производимых погрузочных работ. Конструктивно-технологические параметры данного механизма загрузки не обоснованы, следовательно, необходимо проведение теоретических и экспериментальных исследований.

Во второй главе представлена разработанная математическая модель процесса механизированной загрузки порубочных остатков, имеющей возможность загружать древесное сырье с различными геометрическими параметрами в дисковую рубительную машину, производимую за счет загрузочного устройства, конструкция которого защищена патентами РФ на изобретение № 2424896 и полезную модель № 158569 (рисунок 1)

На основании проведенных исследований можно предложить следующую конструктивно-технологическую схему устройства для измельчения порубочных остатков, которое содержит корпус загрузочного патрона 1 с габаритными пластины 2, щепопровод 3, измельчитель 4, ременную передачу 5, приводной вал 6, механизм подачи 7, подающих вальцов 8, подъемное устройство в виде подъемного ковша 9, включающего нижнюю платформу со стреловидными захватами 10, верхнюю платформу с наклонными стенками 11, соединенных шарниром 12, шарниры 13, 14 и тяги 15, гидроцилиндр 16, трубопровод 17, систему шкивов, состоящую из шкивов 18, шкива 19, шкива 20, вал 21, вал 22, клиновременную передачу 23, понижающий редуктор 24.

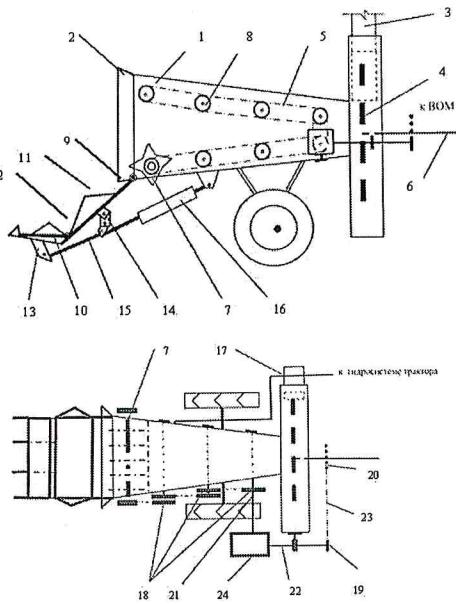


Рисунок 1 – Схема устройства для измельчения порубочных остатков

Моделирование загрузочного ковша основывалось матричном методе формирования общих уравнений из уравнений, описывающих отдельные элементы механизма системы дифференциальных уравнений).

В рамках данного метода механизм разбивался на несколько абсолютно твердых тел, взаимодействующих между собой не скользкими связями определенных типов (шарнирное соединение, невесомая нерастяжимая тяга, связь с помо-

щью гидроцилиндра). Для записи уравнений движения загрузочного устройства в целом использовались уравнения Лагранжа I рода с неопределенными множителями в виде (1):

$$\begin{cases} m_i \ddot{x}_{i0} + \sum_{s=1}^p \lambda_s \frac{\partial \Phi_s}{\partial x_{i0}} = Q_{xi}; \\ m_i \ddot{z}_{i0} + \sum_{s=1}^p \lambda_s \frac{\partial \Phi_s}{\partial z_{i0}} = Q_{zi}; \\ J_i \ddot{\phi}_{i0} + \sum_{s=1}^p \lambda_s \frac{\partial \Phi_s}{\partial \phi_{i0}} = Q_{\phi i}, \end{cases} \quad (1)$$

Общая система уравнений рабочего процесса загрузки порубочных остатков будет иметь следующий вид:

Тело 1			Тело 2			Тело 3			Шарнир 01-11			Шарнир 13-21			Шарнир 22-31			Т32			Гидроцилиндр 02-32						
$m_1$	$m_1$	$J_1$		$m_2$	$J_1$		$m_3$	$J_3$	$T_{31}$	$T_{32}$	$T_{33}$	$T_{34}$	$T_{61}$	$T_{62}$	$T_{63}$	$T_{64}$	$T_{65}$	$T_{66}$	$T_{17}$	$T_{27}$	$T_{37}$	$\dot{x}_{10}$	$\dot{z}_{10}$	$\dot{\phi}_{10}$	$F_{10}^x$	$F_{10}^z$	$M_{10}$
													$T_{67}$	$T_{68}$	$T_{69}$	$T_{60}$	$T_{77}$	$T_{78}$	$T_{95}$	$T_{96}$	$T_{79}$	$\dot{x}_{20}$	$\dot{z}_{20}$	$\dot{\phi}_{20}$	$F_{20}^x$	$F_{20}^z$	$M_{20}$
																				$\dot{x}_{30}$	$\dot{z}_{30}$	$\dot{\phi}_{30}$	$F_{30}^x + Q_{c7}$	$F_{30}^z + Q_{c8}$	$M_{30} + Q_{c9}$		
																				$\lambda_1$	$\lambda_2$	$\lambda_3$	$\lambda_4$	$\lambda_5$	$\lambda_6$	$\lambda_7$	
																				$U_1$	$U_2$	$U_3$	$U_4$	$U_5$	$U_6$	$U_7$	

В целом, движение загрузочного устройства описывается системой из 16-ти дифференциальных уравнений второго порядка в форме Лагранжа с семью неопределенными множителями.

Для наглядности исследования модели создана компьютерная программа «Математическое моделирование устройства подъема и подачи порубочных остатков», защищенная свидетельством о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2015662639. Процесс загрузки ковшом порубочных остатков представлен на рисунке 2.

Влияние конструктивных и технологических параметров загрузочного устройства (входных параметров) на показатели эффективности его работы (выходные критерии) представлено с помощью схемы (рисунок 3).

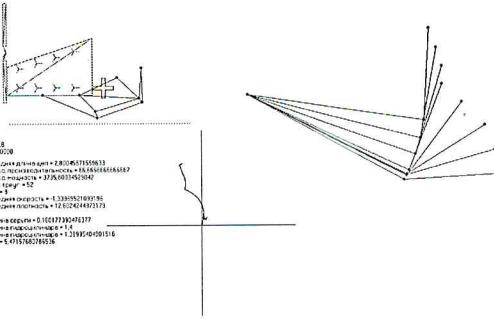


Рисунок 2 – Интерфейсная форма вывода результатов моделирования в разработанной программе

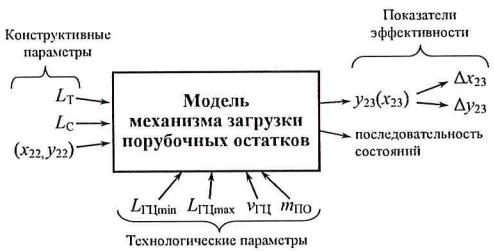


Рисунок 3 – Постановка задачи на теоретическое исследование

Первичными показателями эффективности являются:  $y_{23}(x_{23})$  – траектория движения конца стрелы в рабочем цикле; последовательность состояний устройства в рабочем цикле.

В процессе загрузки ветвей загрузочное устройство совершает сложное движение в пространстве. Поэтому его параметры, в частности, длины нижней  $L_{\text{ни}}$  и верхней  $L_{\text{ви}}$  платформ, могут оказывать сложное и непрогнозируемое заранее влияние на эффективность загрузки. Для изучения совместного влияния параметров  $L_{\text{ни}}$  и  $L_{\text{ви}}$  поставлена и решена задача двухфакторной оптимизации. Задача оптимизации параметров загрузочного устройства записана при помощи аналитических выражений:

$$\begin{cases} t_{3P}(L_{\text{ни}}, L_{\text{ви}}) \rightarrow \min; \\ h_{\Pi}(L_{\text{ни}}, L_{\text{ви}}) \rightarrow \min; \\ k_{\Pi}(L_{\text{ни}}, L_{\text{ви}}) \rightarrow \min, \end{cases} \quad (2)$$

В данной системе выражений  $L_{\text{ни}}$  и  $L_{\text{ви}}$  являются факторами оптимизации, а  $t_{3P}$ ,  $h_{\Pi}$ ,  $k_{\Pi}$  – критериями оптимизации (характеризующими производительность и качество процесса). Для решения задачи оптимизации установлена взаимосвязь между критериями и факторами. С этой целью проведено 9 компьютерных экспериментов в пятикратной повторности каждый, в которых фактор  $L_{\text{ни}}$  варьировали

## Электронный архив УГЛТУ

на уровнях 0,7, 1,0, 1,3 м, а фактор  $L_{\text{ви}}$  – на уровнях 0,5, 0,7, 1,0 м.

Результаты оптимационных компьютерных экспериментов аппроксимированы многочленами второго порядка, для того чтобы получить функции (2) в аналитическом виде. Результатом аппроксимации стали следующие аналитические выражения:

$$\begin{aligned} t_{3P}(L_{\text{ни}}, L_{\text{ви}}) &= 3,258 L_{\text{ни}}^2 + 1,198 L_{\text{ви}}^2 + 1,265 L_{\text{ни}} \cdot L_{\text{ви}} - 7,632 L_{\text{ни}} - 3,335 L_{\text{ви}} + 7,331; \\ h_{\Pi}(L_{\text{ни}}, L_{\text{ви}}) &= -2,741 L_{\text{ни}}^2 - 1,144 L_{\text{ви}}^2 + 0,149 L_{\text{ни}} \cdot L_{\text{ви}} + 5,350 L_{\text{ни}} + 1,708 L_{\text{ви}} - 2,210; \\ k_{\Pi}(L_{\text{ни}}, L_{\text{ви}}) &= 200,0 L_{\text{ни}}^2 + 122,2 L_{\text{ви}}^2 + 355,3 L_{\text{ни}} \cdot L_{\text{ви}} - 733,9 L_{\text{ни}} - 645,3 L_{\text{ви}} + 697,0. \end{aligned} \quad (3)$$

где  $L_{\text{ни}}$  и  $L_{\text{ви}}$  – длины нижней и верхней платформ загрузочного устройства, м;  $t_{3P}$  – время достижения зоны резания пакетом порубочных остатков, с;  $h_{\Pi}$  – высота подброса пакета порубочных остатков, м;  $k_{\Pi}$  – коэффициент потерь (средняя массовая доля порубочных остатков, не попадающих в загрузочный патрон из-за неэффективного движения загрузочного ковша), %.

Для соответствующих аналитических функций на рисунке 4 изображены их графики. Как видно из графиков поверхностей отклика, наименьшее время достижения зоны резания обеспечивают средние длины нижней и верхней платформ (рисунок 4, а), однако при таких длинах платформ оказывается максимальной высота подъема пакета (рисунок 4, б). Наименьший коэффициент потерь достигается при больших длинах платформ загрузочного ковша (рисунок 4, в).

Для более точного и количественного анализа поверхностей отклика, построены контурные графики функций отклика (рисунок 5). Для каждой поверхности отклика пространство факторов ( $L_{\text{ни}}$ ,  $L_{\text{ви}}$ ) разделено на две области: благоприятную, которая затемнена на рисунке, и в которой критерий достигает искомого минимума, и неблагоприятную область.

Уровень разделения областей на благоприятную и неблагоприятную выбирали так, чтобы можно было найти пересечение благоприятных областей (рисунок 5, г).

Анализ расположения оптимальных областей позволяет сделать следующие выводы.

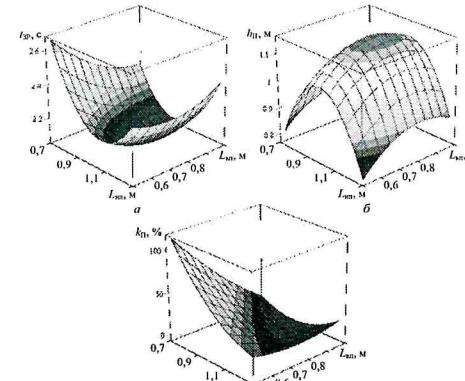


Рисунок 4 – Поверхности отклика к оптимизации параметров  $L_{\text{ни}}$ ,  $L_{\text{ви}}$  загрузочного устройства

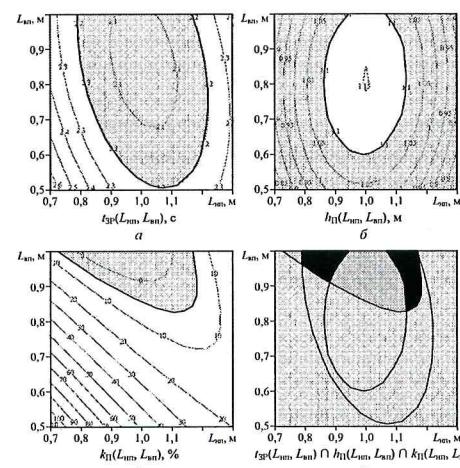


Рисунок 5- Картограммы оптимизации параметров  $L_{\text{ни}}$ ,  $L_{\text{ви}}$  загрузочного устройства

Длина верхней платформы загрузочного устройства  $L_{\text{вп}}$  должна быть не менее 0,85–0,90 м. При этом длина нижней платформы  $L_{\text{пп}}$  должна быть либо достаточно малой 0,8–0,9 м, либо достаточно большой 1,1–1,2 м. В таком случае, загрузочное устройство обеспечивает время достижения зоны резания не более 2,2 с, высоту подъема пакета не более 1,1 м, коэффициент потерь не более 5 %.

В разработанной модели воспроизводится равномерное изменение длины гидроцилиндра со скоростью  $v_{\text{гц}}$ . Для оценки изменения давления в поршневой полости гидроцилиндра в режиме постоянно скорости штока с помощью модели получена зависимость от времени силы, испытываемой гидроцилиндром  $F_{\text{гц}}(t)$ .

При проведении исследований зависимость была пересчитана во временную зависимость давления в поршневой полости:  $P_{\text{гц}}(t) = F_{\text{гц}}(t) / S_{\Pi}$ , где  $P_{\text{гц}}$  – давление в поршневой полости,  $S_{\Pi}$  – площадь поршня и отражена графиком (рисунок 6).

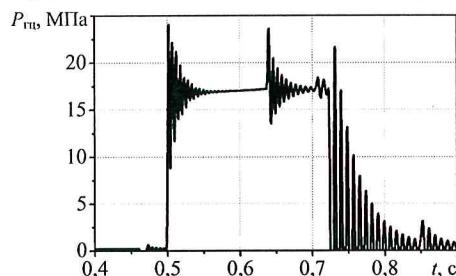


Рисунок 6 – Зависимость изменения давления в поршневой полости гидроцилиндра при движении загрузочного устройства

На графике зависимости  $P_{\text{гц}}(t)$  выражены всплески давления в момент начала подъема ковша (0,50 с), в момент остановки подъема (0,68 с), и в процессе опускания ковша (интервал от 0,74 до 0,85 с).

Оценка расхода рабочей жидкости  $Q$  при подъеме ковша производилась по формуле:

$$Q = \frac{1}{t_{\text{под}}} \Delta L_{\text{гц}} \frac{\pi d_{\text{гц}}^2}{4}, \quad (4)$$

где  $t_{\text{под}}$  – время подъема ковша;  $\Delta L_{\text{гц}}$  – изменение длины гидроцилиндра;  $d_{\text{гц}}$  – диаметр гидроцилиндра.

При  $t_{\text{под}} = 0,4$  с,  $\Delta L_{\text{гц}} = 0,3$  м,  $d_{\text{гц}} = 0,04$  м получаем оценку расхода  $Q = 0,0009 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Оценка мощности гидронасоса  $N_{\text{гн}}$  производилась по формуле:

$$N_{\text{гн}} = Q \cdot P, \quad (5)$$

где  $P$  – давление, которое создает гидронасос.

Расчеты показали, что при  $Q = 0,0009 \text{ м}^3/\text{с}$  и  $P = 17 \text{ МПа}$  мощность гидронасоса составляет около 15 кВт. Необходимо отметить, что для нормальной работы загрузочного ковша можно использовать гидронасос меньшего класса мощности (от нескольких киловатт), однако при этом угловые скорости движения платформ устройства будут меньше. В определенных пределах снижение угловых скоростей допустимо (до 0,05–0,1  $1/\text{с}$ ) и не приводит к существенному ухудшению эффективности загрузки порубочных остатков.

В третьей главе описаны оборудование, задействованное в экспериментальных исследованиях, методика проведения лабораторных испытаний и программа экспериментальных исследований.

Определение количества низкокачественной древесины, остающейся на вырубках после проведения лесосечных работ, производилось путем сплошного пересчета деревьев по: породам, категориям технической годности (качества) и

ступеням толщины: 4 см - при среднем диаметре древостоя выше 16 см и 2 см - при среднем диаметре древостоя до 16 см. Диаметр измерялся на высоте груди - 1,3 м. Направление измерений диаметров относительно стран света и направления склона случайное.

Перечету подлежали деревья со ступенями толщины 8 см. В пределах вырубки для каждой составляющей породы измерялись высоты растущих деревьев (с помощью высотомера) - по три дерева в трех средних ступенях толщины. Деревья для обмера высот подбирали равномерно по площади лесосеки. У каждого отобранного дерева измеряли диаметр на высоте груди с округлением до 1 см и высоту - до 0,5 м.

Для исследования конструктивно-технологических параметров, влияющих на производительность и коэффициент потерь при загрузке порубочных остатков в дисковую рубительную машину, новым загрузочным ковшом, в работе использовалась лабораторная установка, состоящая из: устройства для измельчения порубочных остатков, персонального компьютера, аккумуляторной батареи, соединительных кабелей, тензостанции ZET 017-T8, бесконтактного оптического датчика оборотов, гидрозамка с дросселирующе-предохранительным клапаном, трубопроводов, соединенных с гидросистемой трактора.

Методикой проведения экспериментальных исследований предусматривалось изучение закономерности влияния скорости вращения узлов механизмов подачи и измельчения порубочных остатков, линейной скорости штока гидроцилиндра и высоты подъема порубочных остатков на производительность и коэффициент потерь при загрузке порубочных остатков в дисковую рубительную машину.

В четвертой главе представлены результаты исследований по определению количества низкокачественной древесины, остающейся на вырубках после проведения лесосечных работ и конструктивно-технологических параметров, влияющих на производительность и коэффициент потерь при загрузке порубочных остатков в дисковую рубительную машину.

Исследования показали, что количество низкокачественной древесины зависит от таких показателей, как диаметр и высота. Породой формирующей основой запас низкокачественной древесины в виде вершин и сучьев является дуб ( $13,8 \text{ м}^3$ ), далее следуют липа ( $1,9 \text{ м}^3$ ) и клен ( $0,51 \text{ м}^3$ ).

Экспериментальными испытаниями установлено, что наибольшее значение производительность рубительной машины, оснащенной новой конструкцией загрузочного устройства имеет при следующих значениях технологических параметрах процесса загрузки порубочных остатков: частота вращения в зоне подачи ( $n_b, 1/\text{с}$ ) – 7,5–8,5; скорость штока гидроцилиндра ( $v_{\text{гц}}, \text{ м}/\text{с}$ ) – 0,22–0,46; частота вращения рубительного диска ( $n_{\text{рд}}, 1/\text{с}$ ) – 12,0–14,0; частота вращения подающих валцов ( $n_{\text{пп}}, 1/\text{с}$ ) – 8,5–9,5.

При этом выявлено, что наименьшее значение коэффициент потерь машины для измельчения порубочных остатков, оснащенной новой конструкцией загрузочного устройства имеет при следующих значениях технологических параметрах процесса загрузки порубочных остатков: высоте подброса пакета порубочных остатков ( $h_p, \text{ м}$ ) – 0,8–1,1; скорости штока гидроцилиндра ( $v_{\text{гц}}, \text{ м}/\text{с}$ ) – 0,3–0,44; частота вращения подающих валцов ( $n_{\text{пп}}, 1/\text{с}$ ) – 2,5–3,5.

Так как коэффициент потерь машины для измельчения порубочных остатков, оснащенной новой конструкцией загрузочного устройства является основным показателем рабочего процесса загрузки порубочных остатков, то скорректированные исходя из данного условия конструктивно-технологические параметры функционирования дисковой рубительной машины будут иметь следующие пределы: высота подброса пакета порубочных остатков ( $h_n$ , м)- 0,8-1,1; скорость штока гидроцилиндра ( $v_{гц}$ , м/с)-0,3-0,44; частота вращения подающих вальцов ( $n_{пв}$ , 1/с)-2,5- 3,5; частота вращения в зоне подачи ( $n_b$ , 1/с)-2,5-3,5; частота вращения рубительного диска ( $n_{рд}$ , 1/с)-12,0-14,0.

Сравнение результатов теоретического и экспериментального исследований Зависимость коэффициента потерь дисковой рубительной машины ( $K_n$ ) от высоты подброса пакета порубочных остатков ( $h_n$ , м) показало высокую их сходимость. Различия между теоретическими и экспериментальными данными незначительны и составляют не более 5%.

**В пятой главе** представлено технико-экономическое обоснование применения разработанной конструкции дисковой рубительной машины, оснащенной новой конструкцией загрузочного устройства (рисунок 7).



Рисунок 7- Общий вид опытного образца машины для измельчения порубочных остатков (вид сзади)

В результате проведения полевых испытаний установлено, что производительность опытного образца машины для измельчения порубочных остатков составила 35,8 пл.м.<sup>3</sup>/ч.

Показатели экономической эффективности от применения опытного образца машины для измельчения порубочных остатков, оснащенной новой конструкцией загрузочного устройства проводились в сравнении с аналогичным машинно-тракторным агрегатом, который применяется в настоящее время

для выполнения требуемого технологического процесса на предприятиях лесного комплекса.

Проведенные расчеты экономической эффективности свидетельствуют, что годовой экономический эффект от внедрения разработанного опытного образца машины для измельчения порубочных остатков составляет 349637 рублей. При этом срок окупаемости дополнительных капитальных вложений равен 0,14 года.

## ОБЩИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ И ВЫВОДЫ

1. Для реализации процесса механизированной загрузки порубочных остатков, имеющих различные геометрические параметры, в дисковую рубительную машину разработано новое техническое решение в виде загрузочного устройства (патенты РФ на изобретение № 2424896 и полезную модель № 158569).

2. Обоснованы тип и конструкция загрузочного устройства для загрузки порубочных остатков в дисковую рубительную машину. Для выполнения данного технологического процесса выбраны, связанные между собой шарниром нижняя платформа со стреловидными захватами и верхняя платформа с наклонными стенками, оснащенная многозвеньевой системой подъема ковша.

3. Разработана математическая модель технологического процесса загрузки порубочных остатков в дисковую рубительную машину, позволяющая изучить влияние его основных конструктивных и технологических параметров, а также геометрических параметров пакета порубочных остатков на показатели эффективности процесса работы измельчителя. На основе математического моделирования установлено, что оптимальная конечная длина гидроцилиндра  $L_{ГЦmax}$  для механизма заданной геометрии составляет 1,35 ... 1,40 м. При длине верхней платформы ковша 0,9–1,0 м и либо малой (0,8–0,9 м), либо большой (1,1–1,2 м) длине нижней платформы ковша загрузочный ковш обеспечивает время достижения зоны резания не более 2,2 с, высоту подброса пакета не более 1,1 м и коэффициент потерь не более 5 %. Оптимальная угловая скорость вращения нижней платформы составляет 0,25...0,30 1/с. При этом время достижения зоны резания не превышает 2,5 с, а высота подброса пакета не превышает 1020 мм. Оптимальная угловая скорость вращения верхней платформы составляет 0,2...0,4 1/с. Наилучший угол подъема нижней платформы составляет около 5...10°. В режиме быстрого подъема ковша расход рабочей жидкости для гидроцилиндра внутренним диаметром 40 мм составляет около 0,001 м<sup>3</sup>/с, а требуемая мощность гидронасоса составляет около 15 кВт.

4. Полевыми исследованиями вырубок в лесах степной и лесостепной зон Саратовской области установлено, что количество низкокачественной древесины зависит от таких показателей, как диаметр и высота. Породой формирующей основной запас низкокачественной древесины в виде вершин и сучьев является дуб (13,8 м<sup>3</sup>), далее следуют липа (1,9 м<sup>3</sup>) и клен (0,51 м<sup>3</sup>). Наибольший диаметр порубочных остатков имеет вяз (5,65 см), а наибольшую длину порубочных остатков имеет клен (377,13 см).

5. В результате лабораторных и полевых испытаний определены наилучшие конструктивно-технологические параметры рабочего процесса загрузки порубочных остатков в дисковую рубительную машину будут иметь следующие пределы: высота подброса пакета порубочных остатков ( $h_n$ , м)- 0,8-1,1; скорость штока гидроцилиндра ( $v_{гц}$ , м/с)-0,3-0,44; частота вращения подающих вальцов ( $n_{пв}$ , 1/с)-2,5- 3,5; частота вращения в зоне подачи ( $n_b$ , 1/с)-2,5-3,5; частота вращения рубительного диска ( $n_{рд}$ , 1/с)-12,0-14,0.

6. Годовой экономический эффект, полученный при внедрении экспериментального образца машины для измельчения порубочных остатков в производство, составляет 349637 рублей. При применении машины для измельчения порубочных остатков на вырубках дополнительные капитальные вложения окупятся в срок 0,14 года.

**Основные положения диссертационного исследования изложены в следующих работах.**

### В изданиях, рекомендованных ВАК

1.Фетяев А.Н. Об имитационной модели процесса измельчения порубочных остатков / А.Н. Фетяев, С.В. Фокин // Научно-технический вестник Поволжья, В.2/ издательство «Научно-технический вестник Поволжья»-Казань, 2012.- С. 291-295.

2. Фетяев А.Н. О представлении в модели механизма подъема порубочных остатков дисковой рубительной машины / А.Н. Фетяев, С.В. Фокин // Современные проблемы науки и образования. – 2013. – № 5; URL: <http://www.science-education.ru/111-10350> (дата обращения: 15.10.2013).
3. Фетяев А.Н. О кинематических и динамических характеристиках механизма подъема порубочных остатков дисковой рубительной машины / А.Н. Фетяев, С.В. Фокин // Современные проблемы науки и образования. – 2014. – № 3; URL: <http://www.science-education.ru/117-13574> (дата обращения: 18.06.2014).
4. Фетяев А.Н.О перспективных технических средствах для ведения агролесомелиоративных мероприятий / А.Н. Фетяев, С.В. Фокин, О.Н. Шпортько //Современные проблемы науки и образования, 2015 г. - №2; URL: <http://www.science-education.ru/122-20432> (дата обращения: 10.07.2015).

## Патенты РФ

5. Пат. на изобретение 2424896, МПК В 27 L 11/00. Устройство для измельчения порубочных остатков / В.В. Цыплаков, С.В. Фокин, А. Н. Фетяев: заявитель и патентообладатель ФГОУ ВПО «Саратовский ГАУ». – № 2010110972/21; заявл. 22.03.2010 ; опубл. 27.07.2011, Бюл. № 21.

6. Пат. на полезную модель 158569, МПК В 27 L 11/00. Устройство для измельчения порубочных остатков / С.В. Фокин, А. Н. Фетяев: заявитель и патентообладатель ФГОУ ВО Саратовский ГАУ. – 2015121643/13; заявл. 23.06.2015 ; опубл. 10.01.2016, Бюл. № 1.

7. Свидетельство о гос. регистрации программ для ЭВМ № 2015662639.Математическое моделирование устройства подъема и подачи порубочных остатков / А.Н. Фетяев, С.В. Фокин: заяв. и патентообладатель ФГБОУ ВО Саратовский ГАУ.- 2015617036; заявлено 30.07.2015 г.; зарегистрировано 30.11. 2015 г.

## Статьи и материалы конференций

8. Фетяев А.Н. О способах подачи порубочных остатков в зону измельчения рубительных машин / А.Н. Фетяев, С.В. Фокин // Лесотехнический журнал: ВГЛТА- Воронеж– 2011. – № 2. – С. 45-50.

9. Фетяев А.Н. О совершенствовании конструкции устройства для измельчения порубочных остатков / А.Н. Фетяев, С.В. Фокин, А.С. Бурлаков // Вавиловские чтения- 2009: Материалы конференции.-Саратов: ООО Издательство «КУБ иК»,2009.- С.254-255.

10. Фетяев А.Н. О работе устройства для измельчения порубочных остатков / А.Н. Фетяев, С.В. Фокин // Вавиловские чтения- 2010: Материалы конференции.-Саратов: ООО Издательство «КУБ иК»,2010.- С. 99-101.

11. Фетяев А.Н. О конструкции механизма подъема порубочных остатков опытного образца дисковой рубительной машины / А.Н. Фетяев, С.В. Фокин // Научный электронный архив. URL: <http://econf.rae.ru/article/7869> (дата обращения: 13.09.2013).

12. Фетяев А.Н. О динамическом анализе работы механизма подъема порубочных остатков дисковой рубительной машины / А.Н. Фетяев, С.В. Фокин // Наука и образование в XXI веке: сборник научных трудов по материалам Международной научно-практической конференции (30 сентября 2013 года г. Тамбов). /ТРОО «Бизнес-Наука- Общество», 2013. - Ч.7.-С.148-149.

13. Фетяев А.Н. Особенности проведения компьютерного эксперимента по моделированию работы механизма загрузки порубочных остатков / А.Н. Фетяев, С.В. Фокин // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: сборник научных трудов по материалам международной заочной науч-

но-практической конференции: изд-во ВГЛТА, Воронеж, 2014 г. № 2 ч.2- С.247-251.

14. Фетяев А.Н.Постановка задачи на теоретическое исследование рабочего процесса загрузки порубочных остатков механизмом загрузки гидроманипуляторного типа / А.Н. Фетяев, С.В. Фокин // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: сборник научных трудов по материалам международной заочной научно-практической конференции: изд-во ВГЛТА, Воронеж,2014 г. № 3 ч.2- С.452-454.

15. Фетяев А.Н. Об использовании отходов лесосечных работ / А.Н. Фетяев // Проблемы природоохранной организации ландшафтов: материалы между. науч.-практ. конф., / Ред. кол.: Н. А. Иванова (отв.ред.) и др.; НИМИ ДГАУ. – Новочеркасск: Лиц, 2015. – С.255- 260.

16.Фетяев А.Н. Технико-экономическое обоснование применения опытного образца рубительной машины / А.Н. Фетяев, С.В. Фокин // Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: сборник научных трудов по материалам международной заочной научно-практической конференции: изд-во ВГЛТА, Воронеж,2014 г. № 5-3(16-3) - С.201-204.

17. Фетяев А.Н. К оценке работоспособности опытного образца рубительной машины в производственных условиях / А.Н. Фетяев //Актуальные направления научных исследований XXI века: теория и практика: сборник научных трудов по материалам международной заочной научно-практической конференции: изд-во ВГЛТА, Воронеж,2014 г. № 5-3(16-3) - С.198-200.

A-1812

Просим принять участие в работе диссертационного совета или прислать Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах с заверенными подписями по адресу  
620100, г. Екатеринбург, ул. Сибирский тракт,37,УГЛТУ,  
диссертационный совет Д.212.281.02, e- mai: d21228102@yandex.ru

Фетяев Алексей Николаевич

## ОБОСНОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ И РЕЖИМОВ РАБОТЫ ЗАГРУЗОЧНОГО УСТРОЙСТВА ДИСКОВОЙ РУБИТЕЛЬНОЙ МАШИНЫ

Автореферат  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук